

**OPINNÄYTETYÖ**  
**HANNU LAMMI 2013**

# **LUMIAIDAT JA LUMENPINNAN MITTAUS VAIHE-EROLASERKEILAIMELLA**



**Rovaniemen**  
**ammattikorkeakoulu**  
University of Applied Sciences  
LUC

**MAANMITTAUSTEKNIIKAN  
KOULUTUSOHJELMA**

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIikka JA LIIKENNE

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

# **LUMIAIDAT JA LUMENPINNAN MITTAUS VAIHE- EROLASERKEILAIMELLA**

Hannu Lammi

2013

Toimeksiantaja Arctic Power

Ohjaaja Kai Ryytänen

Hyväksytty \_\_\_\_\_ 2013 \_\_\_\_\_

---

<b>Tekijä</b>	Hannu Lammi	<b>Vuosi</b>	2013
<b>Toimeksiantaja Työn nimi</b>	Arctic Power Lumiaidat ja lumenpinnan mittaus vaihe-erolaserkeilaimella		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	41		

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Rovaniemen ammattikorkeakoulun alaisuudessa toimivan Arctic Powerin toimeksiannosta ja työ on osa lumiaitoihin liittyvää tutkimusta. Työn tavoitteena oli tutkia lumiaitojen soveltuvuutta lumen keräämiseen avotunturissa. Tutkimus suoritettiin mittaamalla lumenpinta Pyhätunturin huipulle rakennettujen lumiaitojen ympäriltä säännöllisin väliajoin. Mittaustulosten avulla laskettiin aitojen keräämän lumen tilavuus.

Lumenpinnan mittaus suoritettiin vaihe-erolaserkeilaimella. Tämän työn toisena tarkoituksena oli tutkia Z+F IMAGER 5006i -laserkeilaimen soveltuvuutta lumenpinnan mittaukseen avotunturissa. Työssä tutkittiin, kuinka pitkiä etäisyyksiä keilaimella pystytään mittaamaan lumen pintaa ja kuinka mittauspäivien sää vaikuttaa mittauksen kantamaan. Keilausaineistojen käsittelyn yhteydessä tutkittiin ilmassa leijuneiden pölyhiukkasten vaikutusta laserkeilaustuloksiin.

Työn aikana saatiin myös paljon kokemusta keilaimen toimivuudesta kylmässä säässä. Laserkeilauksia suoritettiin yhteensä 66 ja niitä tehtiin yhteensä yhdeksänä eri päivänä. Mittauspäivien sää vaihteli selkeästä hyvin sumuiseen lämpötilan vaihdella 0 ja -15 celsiusasteen välillä. Jokaisen mittauspäivän jälkeen laskettiin kertyneen lumen tilavuus ja kertymästä tehtiin poikkileikkauskuvat jokaisen aidan keskikohdasta. Mittauspäivistä tehtiin muistiot, joihin liitettiin laskennan tulokset sekä poikkileikkauskuvat.

Lumiaidat soveltuvat hyvin lumen keräämiseen avotunturissa. Niiden avulla voidaan kaksinkertaistaa lumen määrä halutulla alueella. Lumiaidan läpäisevyys vaikuttaa merkittävästi lumen kertymiseen ja aidan toimivuuteen.

Vaihe-erolaserkeilain soveltuu lumenpinnan mittaukseen avotunturissa, mutta laitteen käyttö lumisissa ja tuulisissa olosuhteissa on haastavaa. Lumenpintaa laserkeilatessa mittausetäisyydet jäivät melko lyhyiksi. Ilmassa leijuva lumipöly ei vaikuta merkittävästi pistepilven laatuun tai mittauksen kantamaan.

---

<b>Author</b>	Hannu Lammi	<b>Year</b>	2013
<b>Commissioned by</b>	Arctic Power		
<b>Subject of thesis</b>	Snow Fences and Snow Cover Survey with Phase-Based Laser Scanner		
<b>Number of pages</b>	41		

---

This thesis studied one section of Arctic Power's snow fence research. The first objective was to test the suitability of the phase-based laser scanner for surveying snow cover. The second objective was to assess the suitability of snow fences in the collection of snow on top of a fell.

The snow cover around the snow fences on the Pyhä Fell was surveyed regularly with the Z+F IMAGER 5006i laser scanner. The volume of snow collected by the fences was calculated after each survey day and notes were taken on the scanner's performance. The scanner was also used to test whether or not snow dust particles in the air would affect the laser scanning results.

The results of these scans concluded that snow fences on a fell are well suited for the collection of snow as snow volume can be doubled. However, the porosity of a snow fence will affect how snow is collected and how well the fence works.

Phase-based laser scanners are suitable for surveying snow cover on fells even though the devices can be challenging to use in snowy or windy conditions. It was also concluded that the scanner had a short range when scanning snow and that snow dust particles in the air do not significantly affect the quality of point cloud or survey range.

Key words

snow fence, laser scanning, phase-based laser scanner,  
snow

# SISÄLTÖ

<b>TAULUKKO- JA KUVIOLUETTELO.....</b>	<b>1</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>2</b>
<b>2 LASERKEILAUS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 YLEISTÄ.....</b>	<b>4</b>
2.1.1 <i>Toimintaperiaate.....</i>	<i>4</i>
2.1.2 <i>Laatuun vaikuttavat tekijät .....</i>	<i>5</i>
<b>2.2 KÄYTTÖTAVAT JA -KOhteET .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 <i>Kaukokartoitus- eli ilmalaserkeilaus.....</i>	<i>6</i>
2.2.2 <i>Terrestriaalinen laserkeilaus eli maalaserkeilaus.....</i>	<i>7</i>
2.2.3 <i>Teollisuuslaserkeilaus .....</i>	<i>9</i>
<b>2.3 Z+F IMAGER 5006I.....</b>	<b>10</b>
<b>3. LUMIAITA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. YLEISTÄ.....</b>	<b>12</b>
3.1.1 <i>Toimintatapa .....</i>	<i>12</i>
3.1.2 <i>Perusperiaatteet.....</i>	<i>13</i>
<b>3.2 KÄYTTÖTARKOITUS .....</b>	<b>14</b>
<b>4. TUTKIMUKSET .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 LUMIAIDAN SOVELTUVUUS LUMEN KERÄÄMISEEN AVOTUNTURISSA.....</b>	<b>16</b>
4.1.1 <i>Tutkimuksen osapuolet.....</i>	<i>16</i>
4.1.2 <i>Tutkittavat lumiaidat .....</i>	<i>17</i>
4.1.3 <i>Tutkimuksen toteuttaminen .....</i>	<i>18</i>
<b>4.2 VAIHE-EROLASERKEILAIMEN SOVELTUVUUS LUMENPINNAN MITTAUKSEEN .....</b>	<b>19</b>
4.2.1 <i>Tutkittavat asiat .....</i>	<i>19</i>
4.2.2 <i>Tutkimuksen toteuttaminen .....</i>	<i>20</i>
<b>5. LUMENPINNAN MITTAUS Z+F IMAGER 5006I -LASERKEILAIMELLA .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1 MITTAUSTAVAN VALINTA.....</b>	<b>22</b>
<b>5.2 LASERKEILAUSPROSESSI.....</b>	<b>22</b>
5.2.1 <i>Mittausalueeseen tutustuminen .....</i>	<i>22</i>
5.2.2 <i>Tähtysten valinta .....</i>	<i>23</i>
5.2.3 <i>Mittausalueen valmistelu .....</i>	<i>23</i>
5.2.4 <i>Laserkeilaus .....</i>	<i>24</i>
<b>5.3 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY.....</b>	<b>25</b>
5.3.1 <i>Zoller+Fröchlich LaserControl -ohjelmistolla tehtävä esikäsittely .....</i>	<i>25</i>
5.3.2 <i>Trimble RealWorks Survey Advanced -ohjelmistolla tehtävä jatkokäsittely .....</i>	<i>26</i>
5.3.3 <i>3D WIN -ohjelmistolla tehtävä lumen kertymän laskenta .....</i>	<i>26</i>
<b>6. TUTKIMUSTEN TULOKSET .....</b>	<b>29</b>
<b>6.1 LUMIAIDAN SOVELTUVUUS LUMEN KERÄÄMISEEN AVOTUNTURISSA.....</b>	<b>29</b>
6.1.1 <i>Tutkittavat lumiaidat .....</i>	<i>29</i>
6.1.2 <i>Lumen kertyminen.....</i>	<i>31</i>
<b>6.2 VAIHE-EROLASERKEILAIMEN SOVELTUVUUS LUMENPINNAN MITTAUKSEEN .....</b>	<b>31</b>
6.2.1 <i>Laserkeilaimen käyttö avotunturissa.....</i>	<i>31</i>
6.2.2 <i>Laserkeilaustulokset.....</i>	<i>33</i>
<b>7. JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>37</b>
<b>LÄHTEET.....</b>	<b>40</b>

## TAULUKKO- JA KUVIOLUETTELO

Taulukko 1. Z+F IMAGER 5006i -laserkeilaimen teknisiä tietoja (Zoller+Fröhlich GmbH 2009, 8-9). .....	11
Taulukko 2. Aitatyypien vertailua. ....	31
Kuvio 1. Laserkeilaimien mittaustapoja (Joala 2006, 2.) .....	7
Kuvio 2. Lumiaidan toimintaperiaate (Tabler 1991, 10).....	13
Kuvio 3. Lumiaidan läpäisevyyden vaikutus lumen kertymiseen (Tabler 2003, 145). .....	14
Kuvio 4. Tutkittavat lumiaidat.....	18
Kuvio 5. Laserkeilaus käynnissä sumuisissa olosuhteissa. ....	20
Kuvio 6. Esimerkki laskentatuloksiin liitetystä poikkileikkauskuvasta, jossa lumenpintaa on verrattu maanpintaan. ....	27
Kuvio 7. Esimerkki laskentatuloksiin liitetystä poikkileikkauskuvasta, jossa lumenpintaa on verrattu edellisen mittauksen lumenpintaan. ....	28
Kuvio 8. Poikkileikkaus 50/100-aidan keskikohdasta. ....	29
Kuvio 9. Poikkileikkaus 100/100-aidan keskikohdasta. ....	30
Kuvio 10. Poikkileikkaus 200/100-aidan keskikohdasta. ....	30
Kuvio 11. Sumuisessa säässä laserkeilattu pistepilvi. ....	34
Kuvio 12. Selkeässä säässä laserkeilattu pistepilvi. ....	35
Kuvio 13. Laserkeilaimella mitattu pistepilvi suodatuksen jälkeen. ....	36

## 1 JOHDANTO

Lumiaitojen käytöllä on pitkä historia lumen keräämistarkoituksessa. Nykyisin niiden käyttö on kuitenkin hyvin vähäistä ja suunnittelematonta. Aitojen vähäinen käyttö on aiheuttanut niiden kehitystyön pysähtymisen, vaikka materiaalien ja välineiden antamat mahdollisuudet ovat koko ajan kasvaneet. Lumiaitoja voidaan oikein toteutettuna käyttää tehokkaasti lumen keräämiseen. Niiden avulla voidaan myös estää lumen kertyminen epätoivotuille alueille.

Arctic Power tutkii lumiaitojen soveltuvuutta lumen keräämiseen avotunturissa. Tutkimuksessa tutkitaan erilaisten aitatyyppien ja -materiaalien eroja sekä niiden kykyä kerätä tuulen liikuttamaa ajolunta. Tutkittavat lumiaidat sijaitsevat Pyhätunturin huipulla, missä sää on talvisin tuulinen ja kylmä. Avotunturissa tuuli liikuttaa suuria määriä lunta, jota pyritään keräämään talteen lumiaitojen avulla.

Maalaserkeilaimia käytetään usein sisätiloissa rakenteiden pintojen mittaukseen. Ulkoilmassa tehtävät keilaukset suoritetaan yleensä selkeässä ja riittävän lämpimässä säässä. Usein ajatellaan, ettei laserkeilauksia kannata tehdä lumi- tai vesisateessa tai paikassa, jonka ilmassa leijuu runsaasti pölyä. Ilmassa leijuvat partikkelit lyhentävät mittausetäisyyttä ja aiheuttavat virheellisiä pisteitä mittaustuloksiin.

Laserkeilaimia ei ole suunniteltu käytettäväksi kylmissä sääolosuhteissa, sillä useimmiten niiden suositeltu käyttölämpötila on korkeampi kuin -10 celsiusastetta. Käytettäessä elektronisia laitteita kylmässä säässä niiden akut saattavat tyhjentyä nopeasti ja laitteissa saattaa esiintyä toimintahäiriöitä. Osa laitteista on ohjelmoitu siten, että niiden virta katkeaa laitteen jäähtyessä liian kylmäksi.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa Arctic Powerille tarvittavat tulokset lumiaitojen keräämän lumen määrästä. Kertymää tutkitaan mittamalla lumen pinta säännöllisin väliajoin ja laskemalla mittaustulosten avulla aitojen ympärille kertyneen lumen tilavuus. Lumenpinnan mittaus suoritetaan laserkeilaustekniikkaa hyödyntäen, koska laserkeilaus on tehokas tapa mitata kohteiden pintoja. Laserkeilainta käyttämällä saadaan myös kokemusta laitteen toimivuudesta kylmässä säässä. Laserkeilaustulosten perusteella

tutkitaan, kuinka hyvin vaihe-erolaserkeilain soveltuu lumenpinnan mittaukseen ja miten ilmassa leijuvat lumahiukkaset vaikuttavat keilaustuloksiin.



## 2 LASERKEILAUS

### 2.1 Yleistä

#### 2.1.1 Toimintaperiaate

Laserkeilaus on mittausmenetelmä, jolla voidaan monipuolisesti kerätä kolmiulotteista tietoa ympäröivästä maastosta koskematta siihen. Laserkeilain on mittalaite, jolla mitataan lasersäteen avulla pisteitä kohteen pinnasta. Mittalaite lähettää lasersäteen, joka kohteeseen osuessaan heijastuu takaisin keilaimeen. Laite mittaa etäisyyden kohteeseen ja yhdessä lasersäteen pysy- ja vaakakulman kanssa järjestelmä laskee mitattujen pisteiden X-, Y- ja Z-koordinaatit. Mitattujen pisteiden joukkoa kutsutaan pistepilveksi. Osa laitteista tallentaa jokaiselle pisteelle myös intensiteettiarvon eli palautuvan lasersäteen voimakkuusarvon. Säteen voimakkuus esitetään usein väri- tai harmaasävyyn erona. Intensiteettiarvon esitys helpottaa pistepilven käsittelyä, koska pistepilvistä voidaan erottaa eri materiaaleja. (Joala 2006, 1-3; Koski 2001, 25.)

Laserkeilaimet voidaan jakaa etäisyysmittauksen toimintaperiaatteen perusteella pulssi- ja vaihe-erolasereihin. Pulssi- eli aikaerolaserkeilaimen toiminta perustuu valon kulkuaikaan. Keilain lähettää laserdiodin tuottaman energiapulssin tunnettuun suuntaan ja mittaa pulssin edestakaisen kulkuajan laitteesta kohteeseen. Aikaeron perusteella voidaan laskea kohteen ja laitteen välinen etäisyys. Lähettämällä pulsseja eri suuntiin saadaan muodostettua kolmiulotteinen näkemä ympäristöstä. Valon kulkuaikaan perustuvat keilaimet ovat hitaampia kuin vaihe-erokeilaimet, mutta niillä pystytään mittaamaan pidempiä etäisyyksiä. Pulssikeilaimella on mahdollista mitata tiheitä pistepilviä pitkiltäkin etäisyyksiltä. (Joala 2006, 2; Kukko 2005, 6-7.)

Vaihe-ero- eli jatkuva-aaltainen laserkeilain lähettää jatkuvaa signaalia, jonka intensiteetti on moduloitu siniaallolla tai aaltomuodolla, jossa on useampia eri kantoaallonpituuksia. Keilain mittaa lähetetyn ja kohteesta heijastuvan signaalin välisen vaihe-eron. Moduloimalla useampia aallonpituuksia saadaan ratkaistua kantoaallon kokonaislukutuntematon. Vaihe-eron ja kokonaislukutuntemattoman avulla pystytään määrittämään kohteen etäisyys. Vaihe-erokeilaimet ovat tehokkaita, sillä niiden mittausnopeus on parhaimmillaan yli

miljoona pistettä sekunnissa (Heiska 2010, 14). Niiden suurin mittausetäisyys jää alle 100 metrin. (Joala 2006, 2; Kukko 2005, 7.)

Laserkeilain mittaa kohteen peilijärjestelmän suuntaaman säteen avulla. Järjestelmä voi olla oskilloiva tai ympäripyörivä. Oskilloiva peilijärjestelmä tuottaa kapean keilauskulman, joka sopii pienien kohteiden tarkkaan mittaamiseen. Ympäripyörivä peilijärjestelmä toteutetaan useasta peilipinnasta koostuvalla polygonipeilillä tai vinopeilillä. Polygonipeilijärjestelmässä lasersäde on kohtisuorassa peilin pyörimisakselia vasten ja keilauskulma on alle 90 astetta. Vinopeilijärjestelmässä peili on 45 asteen kulmassa pyörimisakseliinsa ja siihen suunnattu säde on akselin suuntainen. Järjestelmän vertikaalinen keilauskulma on periaatteessa 360 astetta, mutta laitteen runko peittää osan kulmasta. (Kukko 2005, 6.)

#### 2.1.2 Laatuun vaikuttavat tekijät

Yksi laserkeilauksen laatuun vaikuttavista tekijöistä on pistepilven tiheys. Pistepilviä käytetään yleensä kohteen mallintamiseen, jolloin pistepilven tulee olla riittävän tiheä. Mitä tiheämpi pistepilvi on, sitä laadukkaampaa mallinnusta sen avulla pystytään tuottamaan. (Joala 2006, 3.)

Toinen laserkeilauksen laatuun vaikuttava tekijä on erikseen mitattujen pistepilvien yhdistämisen laatu. Usein kohdetta mitattaessa joudutaan keilaus suorittamaan usealta kojepisteeltä kaikkien mitattavaksi määriteltujen pintojen saavuttamiseksi. Jälkikäsitteilyn yhteydessä keilauksista saadut pistepilvet joudutaan yhdistämään yhdeksi isoksi pistepilveksi. Tarkimpaan lopputulokseen päästään yhdistämällä pistepilvet toisiinsa yhteisten tähysten avulla. Tähykset voivat olla tasomaisia, pallomaisia tai puolipalloja. Jokaisessa pistepilvessä tulee olla vähintään kolme yhteistä tähystä. Tähysten keskipisteet mitataan yleensä takymetrillä prismattomalla mittauksella. Niiden avulla pistepilvet saadaan siirrettyä haluttuun koordinaatistoon. Pistepilvien yhdistäminen tähysten avulla mahdollistaa parhaimmillaan 1–3 millimetrin tarkkuuden. (Joala 2006, 4.)

Pistepilvet voidaan yhdistää myös niiden yhteisten mallinnettujen kohteiden avulla. Kyseinen yhdistämistapa ei kuitenkaan ole yhtä tarkka kuin yhteisten tähysten käyttäminen. Kolmas tapa yhdistää pistepilvet on käyttää niiden yh-

teisiä alueita, jolloin päästään 5–10 millimetrin yhdistämistarkkuuteen. Keilaukset voidaan yhdistää myös edellä mainittujen tapojen yhdistelmänä. (Joala 2006, 4.)

Laserkeilauksen laatu on riippuvainen myös pistepilven hajonnasta ja intensiteetistä. Hajontaan vaikuttaa mittaussäteen osumiskulma kohteeseen. Säteiden intensiteetti riippuu mittausetäisyydestä, sillä mittausetäisyyden kasvaessa palautuvan signaalin voimakkuus heikkenee. Myös kohteen pinnan materiaali ja muoto vaikuttavat paluusignaalin voimakkuuteen. Sileät ja kirkkaat pinnat heijastavat mittaussäteen voimakkaammin kuin epätasaiset ja huokoiset pinnat. (Joala 2006, 3.)

## **2.2 Käyttötavat ja -kohteet**

### **2.2.1 Kaukokartoitus- eli ilmalaserkeilaus**

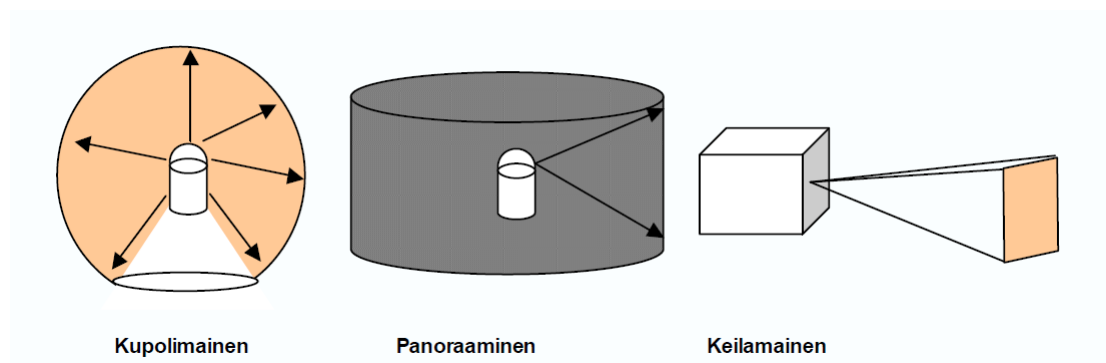
Ilmalaserkeilaus tehdään yleensä lentokoneesta tai helikopterista. Keilauslentojen korkeus vaihtelee kohteesta ja käyttötarkoituksesta riippuen muutamasta sadasta metristä useampaan kilometriin. Pistetarkkuus voi parhaimmillaan olla joitakin senttimetrejä, mutta tyypillisesti yli 10 senttimetriä. Järjestelmä yhdistää GPS-paikannuksen, inertiapaikannuksen ja laseretäisyysmittauksen. Lentokoneessa olevan laserkeilaimen mitatessa maan pintaa, GPS-laitteisto tallentaa mittauksen paikannustiedot. Samaan aikaan inertialaitteisto mittaa lentokoneen kallistuskulmia. Varsinainen mittaustulos saadaan yhdistämällä kaikkien laitteiden havainnot toisiinsa. Lopputulos on kolmiulotteisen pistepilvi, joka sisältää pisteet, joihin keilaimen lähettämät laserpulssit ovat osuneet. Keilaimeen voidaan yhdistää myös digitaalikamera, jolloin keilauksesta saadaan myös ilmakuvia. (Maanmittauslaitos 2013; Nordic Geo Center, 2013.)

Ilmakeilauksessa keilaimen lähettämä laserpulssi saattavat osua useaan kohteeseen, jolloin laite tallentaa useita paluusignaaleita. Paluusignaalin luonteesta ja määrästä saadaan monipuolista tietoa digitoimalla koko signaali. Osa lähetetystä laserpulssista läpäisee kasvillisuuden ja pulssi heijastuu maan pinnasta, jolloin luotettavaa korkeustietoa saadaan myös peitteisiltä alueilta. (Maanmittauslaitos 2013; Nordic Geo Center 2013.)

Ilmalaserkeilauksella tuotetaan usein maasto- ja korkeusmalleja. Niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi katujen, teiden ja rautateiden suunnittelussa. Ilmakeilauksen pohjalta voidaan tehdä myös 3D-kaupunkimalleja, joita käytetään kaavoituksen ja kunnallistekniikan suunnittelun apuna. Keilaus mahdollistaa myös hyvin tarkan puuston pituuden määrittämisen ja metsien inventoinnin. (Hyyppä-Hyyppä 2003, 3.)

### 2.2.2 Terrestriaalinen laserkeilaus eli maalaserkeilaus

Maalaserkeilaimet voidaan jakaa neljään tyyppiin niiden toimintaperiaatteen perusteella: kupolimaisesti, panoraamisesti, keilamaisesti mittaaviin sekä optisella kolmiomittauksella mittaaviin laitteisiin. Suurin osa keilaimista on kupolimaisesti mittaavia. Niissä peilijärjestelmä on ympäripyörivä, jolloin laitteen vertikaalinen mittauskulma on lähes 360 astetta. Kupolimaisesti mitattaessa pisteiden välimatka kasvaa etäisyyden funktiona, joten mitattaessa tiheästi pidempiä etäisyyksiä, joudutaan keilaus fokusoimaan halutulle mitta-alueelle. Panoraamaisesti mittaavan keilaimen heikkous on, ettei sillä kyettä mittaamaan keilaimen yläpuolella olevia kohteita. Keilamainen mittaustapa on tarkoitettu pienten kohteiden yksityiskohtaiseen mittaukseen (Järvinen 2008, 17). Optinen kolmiomittaus on mittaustavoista harvinaisin. Se mahdollistaa hyvän pistetarkkuuden, mutta mittausetäisyys on verrattain lyhyt ja katvealueet isoja. (Joala 2006, 1-2.)



Kuvio 1. Laserkeilaimien mittaustapoja (Joala 2006, 2.)

Maalaserkeilauksella tarkoitetaan maanpinnalla tapahtuvaa lasermittausta. Mittaus voidaan suorittaa paikallaan olevalta jalustalta tai laite voidaan kiinnittää liikkuvaan ajoneuvoon kuten autoon tai veneeseen. Mittausetäisyydet vaihtelevat metristä useaan sataan metriin. Maalaserkeilauksessa käytetään sekä pulssi- että vaihe-erolaserkeilaimia. Keilauksen etuja muihin mittausta-

poihin nähden on sen nopeus, tarkkuus ja turvallisuus. Laserkeilauksella kohde voidaan mitata koskematta siihen, joten se mahdollistaa myös vaarallisten kohteiden turvallisen mittaamisen. (Heiska 2010, 15-16; Koski 2001, 25.)

Paikallaan mittaava keilausjärjestelmä koostuu kolmijalasta, pakkokeskistysjalustasta, keilaimesta ja tietokoneesta. Näiden lisäksi tarvitaan usein myös takymetri, jonka avulla mitataan keilauksen rekisteröintiin tarvittavat tähykset. Osa järjestelmistä vaatii tietokoneen käyttöä maastossa mittausten ohjaamiseen ja mittausdatan tallentamiseen, mutta osassa järjestelmiä mittauksia ohjataan suoraan keilaimesta ja mittausdata tallentuu keilaimen muistiin. Paikaltaan mitattaessa kohde joudutaan usein keilaimaan useasta eri suunnasta, jotta kaikki mitattavaksi määritetyt pinnat saadaan keilattua. Pistepilvet yhdistetään toisiinsa yhteisten tähysten avulla. Paikallaan mittaavien maalaserkeilainten mittaustarkkuus on alle 2 senttimetriä. (Joala 2006, 1,4; Suominen 2009, 44-47.)

Ajoneuvosta tehtävää liikkuvaa maalaserkeilausta kutsutaan mobiililaserkeilaukseksi. Järjestelmään on ajoneuvon, keilaimen ja tietokoneen lisäksi liitetty GNSS-paikannin, joka paikantaa ajoneuvon reitin keilauksen aikana. Paikantimen tekemät havainnot yhdistetään tehtyihin keilauksiin, jolloin pistepilvet saadaan orientoitua maastokoordinaatistoon. Mitattujen pisteiden tarkkuus on yleensä alle 5 senttimetriä. (Alho ym. 117-118, 125.) Mobiililaserkeilaimissa ympäripyörivä peilijärjestelmä on sijoitettu rungon ulkopuolelle, jolloin mittauskulma on 360 astetta eikä rungon aiheuttamaa varjoa synny.

Terrestriaalisessa laserkeilauksessa keilaimelta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia mittaushetkellä riippuen. Keilaimet eroavat toisistaan esimerkiksi niiden mittausetäisyyden, kulmaresoluution, lasersäteen hajaantumiskulman ja keilauskulman osalta. Kelainta valittaessa tulee ottaa huomioon myös laitteen mittausnopeus. Maaston kartoitustehtävissä tarvitaan usein pitkiä, usean sadan metrin mittausetäisyyksiä. Yksittäisiä rakennuksia tai kohteita kartoitettaessa riittää usein lyhyempi mittauskantama, mutta kulmaresoluution merkitys on suurempi. Kulmaresoluution tiheys määrittää, kuinka hyvin laite pystyy erottamaan kohteen yksityiskohtia. Keilauskulma vaikuttaa merkittävästi mittausprosessin pituuteen, sillä kapealla kulmalla mittaavaa keilainta

joudutaan usein siirtämään ja kääntämään kattavan pistepilven saamiseksi. (Kukko 2005, 9-10.)

Maalaserkeilauksella on monia sovellusalueita. Keilainta käytetään muun muassa rakennusten julkisivujen mittaukseen. Kirkkojen, vanhojen rakennusten ja historiallisten kohteiden entisöinnistä voidaan pistepilviaineistojen pohjalta tehdä tarkat suunnitelmat. Keilauksella pystytään myös seuraamaan rakenteiden käyttäytymistä kuten siltojen painumia. Esimerkiksi VR Track Oy on tehnyt keilauksia, joissa on tutkittu rautateitä tukevien muurien pullistumia ja liikkeitä (VR Track Oy 2013). Keilausta käytetään myös tunneli- ja kaivos-teollisuudessa rakenteiden suunnitteluun ja seurantaan. (Koski 2001, 26.) Rovaniemen ammattikorkeakoulun Snow & Ice Methods -hankkeessa laserkeilausta on käytetty lumi- ja jäärakenteiden deformaatiomittaukseen (Syväjärvi 2010, 15). Tässä opinnäytetyössä keilainta on käytetty lumenpinnan mittaukseen.

Mobiililaserkeilaus mahdollistaa laajojen kohteiden nopean mittauksen. Autoon kiinnitettynä keilainta hyödynnetään esimerkiksi tieympäristön kartoituksessa ja tienpinnan mittauksessa. Laite voidaan kiinnittää myös kiskoilla kulkevaan kelkkaan tai junaan. Kiskoilta keilausta käytetään esimerkiksi kaivos-teollisuudessa pitkien tunneleiden mittaukseen. Veneeseen liitetyillä keilaimilla on tehty esimerkiksi vesistöjen ranta-alueiden kartoituksia. (Suominen 2009, 46.)

### 2.2.3 Teollisuuslaserkeilaus

Teollisuuslaserkeilain eli 3D-esineskanneri on tarkoitettu erityisesti pienten kohteiden erittäin tarkkaan mittaamiseen. Niistä käytetään myös nimitystä lähilaserkeilain. Keilain pyyhkäisee mittaushaaran lasersäteellä ja ohjaa heijastuneen valon objektiivin kautta sensoreille. Mittaus perustuu optiseen kolmiomittaukseen ja suurin mittausetäisyys on 30 metriä. Mittaus tapahtuu muutamassa sekunnissa ja lopputuloksena saadaan pistepilvi, jonka tarkkuus on alle millimetrin. Lähilaserkeilaimia hyödynnetään muun muassa metalliteollisuuden laadunvalvonnassa, lääketieteen ja arkeologian tarpeissa sekä museoissa uniikkien esineiden mallintamiseen. (Ahlavuo–Hyypä 2007, 51; Ahlavuo–Hyypä–Kukko 2009, 19; Joala 2006, 1.)

### 2.3 Z+F IMAGER 5006i

Tämän opinnäytetyön mittauksissa on käytetty Rovaniemen ammattikorkeakoulun omistamaa Z+F IMAGER 5006i -maalaserkeilainta. Se on saksalaisen Zoller+Fröhlich GmbH:n valmistama, kupolimaisesti mittaava, vaiherolaserkeilain. Laitetta voidaan ohjata integroidusta ohjauspaneelistä tai etäkäytöllä PC:n tai kämmentietokoneen avulla. Keilaimessa on sisäinen kiintolevy, johon mittaukset tallentuvat. Järjestelmä ei vaadi tietokoneen käyttöä maastossa. (Zoller+Fröhlich GmbH 2009, 2-5.)

Keilain tallentaa mittatuille pisteille intensiteettiarvon ja tuottaa harmaasävyisen pistepilven. Laitteeseen on mahdollista liittää Z+F M-Cam -panoraamakamera, jonka avulla mittaustuloksiin saadaan liitettyä myös pisteiden väritiedot. (Zoller+Fröhlich GmbH 2009, 5.) Tämän opinnäytetyön mittauksissa keilaimeen liitettävää kameraa ei ollut käytettävissä.

Valmistajan ilmoittamia teknisiä tietoja Z+F IMAGER 5006i -laserkeilaimelle:

Taulukko 1. Z+F IMAGER 5006i -laserkeilaimen teknisiä tietoja (Zoller+Fröhlich GmbH 2009, 8-9).

Kantama	0.4–79 m	
Resoluutio	0.1 mm	
Keilausnopeus	≤508 000 pistettä/sekunti	
Etäisyystarkkuus kantaman ollessa		
10 m	≤1.2 mm rms	
25 m	≤2.6 mm rms	
50 m	≤6.8 mm rms	
Käyttölämpötila	-10 °C–45°C	
Säteen hajoamiskulma	0.22 mrad	
Lasersäde	Näkyvä, laserluokka 3R	
Näkökenttä vaaka/pysty	310°/360°	
Kulmaresoluutio	0.0018°	
Kulmatarkkuus	0.007° rms	
Paino	14 kg	
Keilausresoluutio	Pistettä/360°	Skannausaika/360°
Esikatselu	1 250	25 s
Keskitiheä	5 000	1 min 40 s
Tiheä	10 000	3 min 22 s
Super tiheä	20 000	6 min 44 s
Ultra tiheä	40 000	26 min 40 s
Maksimaalinen pistetiheys valitulle alueelle	100 000	-



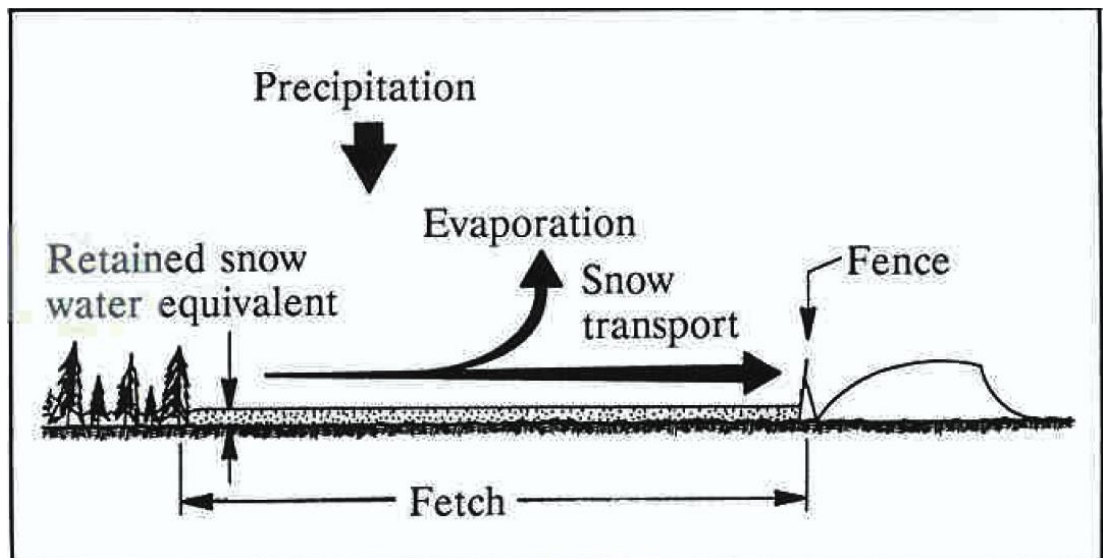
### **3. LUMIAITA**

#### **3.1. Yleistä**

##### **3.1.1 Toimintatapa**

Lumiaita on aita, jonka tarkoituksena on kerätä tuulen kuljettamaa lunta eli ajolunta. Aidat rakennetaan usein puusta tai muovista, mutta on olemassa myös alumiinisia ja teräksisiä lumiaitoja. Muovin käyttö lumiaitojen materiaalina on lisääntynyt, sillä se kestää hyvin sääolosuhteita ja keveytensä ansiosta se mahdollistaa myös siirrettävien aitojen rakentamisen. Myös kasvillisuutta voidaan käyttää ajolumen hallitsemiseen. Esimerkiksi puita voidaan istuttaa sellaisen paikan reunalle, jossa halutaan rajoittaa tuulen kuljettaman lumen liikkumista. (Federal Highway Administration 1991; Tabler 1991, 45.)

Tuiskuavan lumen hiukkasista osa on liian raskaita leijumaan ilmassa, joten niiden liikkuminen tapahtuu hyppimällä tai pomppimalla tuulen mukana lähellä lumen pintaa. Tuulen voimakkuus heikkenee sen törmätessä lumiaitaan, jolloin tuulen mukana hyppivät lumihiukkaset pysähtyvät. Osa hiukkasista kasaantuu tuulen puolelle aitaa, mutta suurin osa läpäisee aidan ja kerääntyy myötätuulen puolelle dyyniksi. (Tabler 1991, 9.) Tuulen nopeuden ollessa alle 9 metriä sekunnissa, 90 prosenttia liikkuvasta lumesta kulkee alle 1,2 metrin korkeudessa lumenpinnasta. Tuulen nopeuden kasvaessa 20 metriin sekunnissa 1,2 metrin alapuolella liikkuvan lumen osuus on 70 prosenttia. (Federal Highway Administration 1991.) Näin ollen suurimpaan osaan liikkuvasta lumesta pystytään vaikuttamaan lumiaitojen avulla.

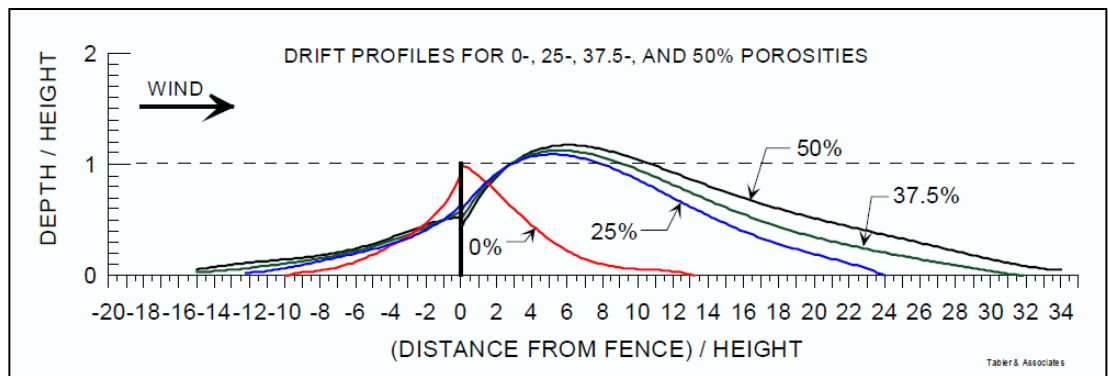


Kuvio 2. Lumiaidan toimintaperiaate (Tabler 1991, 10).

### 3.1.2 Perusperiaatteet

Lumiaidan toimivuuden neljä tärkeintä tekijää ovat aidan kapasiteetti, korkeus, rakenne ja sijoittaminen. Kapasiteetilla tarkoitetaan suurinta lumen määrää, joka aidalla pystytään keräämään. Tähän vaikuttaa tuulen nopeus, toistumistaajuus sekä tuulen mukana kulkeutuvan lumen määrä. Myös aidan korkeus vaikuttaa kapasiteettiin, sillä kerääntyvän lumikinoksen korkeus ja pituus riippuvat usein aidan korkeudesta. Aitojen korkeudet vaihtelevat olosuhteista riippuen 1,8 ja 4,8 metrin välillä. (Federal Highway Administration 1991.)

Aidan rakenteessa tärkeimpiä tekijöitä on aidan kulma, läpäisevyys, materiaali ja pystyttämistapa. Läpäisevyys kertoo kuinka suuren osan aidasta materiaali peittää. Kokemuksien mukaan 40–50 prosentin läpäisevyydellä saadaan kerättyä parhaiten lunta. Rakennusvaiheessa aidan ja maanpinnan väliin tulisi jättää riittävä rako. Tällä pystytään usein estämään aidan alareunan liian aikainen tukkeutuminen lumesta. Raon sopiva korkeus on 10–15 prosenttia aidan kokonaiskorkeudesta. (Federal Highway Administration 1991.)



Kuvio 3. Lumiaidan läpäisevyyden vaikutus lumen kertymiseen (Tabler 2003, 145).

Aitojen pystyttämistavan valinnassa tulee ottaa huomioon maaperä, tuuliolosuhteet ja käyttötarkoitus. Pystytyksen tukevuuden riittävyys vaikuttaa oleellisesti tuulen voimakkuus. Aitojen pystytolpat tulee upottaa riittävän syväälle maahan tukevan pystytyksen aikaansaamiseksi. Pehmeälle maaperälle rakennettaessa tai siirrettäviä aitoja tehtäessä, pystyttämiseen käytetään usein ankkurointia riittävän tukevuuden aikaansaamiseksi. (Federal Highway Administration 1991.)

Tärkein tieto lumiaidan sijoittamisen suunnittelussa on vallitseva tuulensuunta kohdealueella. Aita tulisi sijoittaa mahdollisimman kohtisuoraan vallitsevaan tuulensuuntaan nähden. Kulma voi vaihdella 25 astetta kohtisuorasta ilman, että se vaikuttaa merkittävästi lumen kertymiseen. (Tabler 1991, 14, 16.)

### 3.2 Käyttötarkoitus

Tuiskuava lumi aiheuttaa erilaisia ongelmia tieliikenteessä. Se sokaisee kuljettajia ja peittää liikennemerkkejä aiheuttaen täten onnettomuuksia. Liikkuva lumi lisää myös aurauksen tarvetta, jolloin tien kunnossapitokustannukset kasvavat. Lisäksi tiealueille kerääntyneen lumen sulaessa valumavesi vaurioittaa tien rakennetta. Rakennettaessa tai istutettaessa lumiaitoja riittävälle etäisyydelle tiealueesta, voidaan tiellä liikkuvan lumen määrää vähentää merkittävästi. (Tabler 1991, 3-4.)

Hiihtokeskustoiminnassa asiakkaille pyritään tarjoamaan hyvät rinneolosuhteet mahdollisimman pitkään. Riittävän lumen aikaansaamiseksi hyödynnetään sekä keinotekoisia- että luonnonlunta. Avotunturiolosuhteissa ongelma-

na on tuuli, joka kuljettaa lunta pois tärkeiltä alueilta. Tuulen liikuttamaa lunta on yleensä kerätty erilaisten lumiaitojen avulla. (Toivonen 2012, 1.)

Ensimmäiset viittaukset lumiaitojen käytöstä ovat vuodelta 1852, jolloin aitoja käytettiin rautateiden puhtaanapitoon. Tämän jälkeen lumiaitoja on käytetty esimerkiksi teiden kunnossapitoon, asutuksen suojaamiseen sekä monissa muissa tilanteissa, jossa halutaan estää lumen kertyminen epätoivottuihin paikkoihin. (Tabler 2003, 6.) Suomen hiihtokeskuksissa lumiaitoja on ryhdytty käyttämään 1970-luvulla (Toivonen 2012, 1).

## 4. TUTKIMUKSET

### 4.1 Lumiaidan soveltuvuus lumen keräämiseen avotunturissa

#### 4.1.1 Tutkimuksen osapuolet

Pyhätunturi Oy on Rukakeskus Oy:n omistama tytäryhtiö, joka vastaa Pyhän hiihtokeskuksen rinnepalveluista, hiihtämisen oheispalveluista ja hotellin ravintolatoiminnoista (Pyhätunturi Oy 2013a). Hiihtokeskus ylläpitää 14:ää las-kettelurinnettä ja 8:aa hissiä. Vuonna 2008 yritys on ottanut käyttöönsä ympäristöohjelman, johon se panostaa vahvasti erilaisten investointien ja toimenpiteiden avulla (Pyhätunturi Oy 2013b). Vuonna 2011 Pyhästä tuli Pohjoismaiden ensimmäinen hiilineutraali hiihtokeskus pohjoismaissa. (Toivonen 2012, 2.)

Hiihtokeskustoiminnassa on tärkeää tarjota asiakkaille hyvät rinneolosuhteet mahdollisimman pitkän kauden. Rinteiden kunnossapitoon käytetään luonnonlunta sekä lumitykeillä valmistettavaa tekolunta. Suuri osa Pyhän rinteistä ulottuu puurajan yläpuolelle, missä tuulen vaikutus lumen liikkumiseen on suurinta. Lumiaidoilla pystytään keräämään lunta tuulisilla alueilla. Niiden avulla teko- ja luonnonlunta pystytään hyödyntämään tehokkaammin sekä vähentämään lumen liikkumista pois tärkeiltä alueilta. Lumiaitoja hyödyntämällä voidaan vähentää lumetuksen käyttöä, jolloin myös rinnehuollon energiankulutus vähenee. Pyhän hiihtokeskuksessa rinnehuollon energiankulutus on vuodessa noin 2500 megawattituntia, josta lumetuksen osuus on noin 60 prosentti eli 1500 megawattituntia. (Toivonen 2012, 2.)

Arctic Power on Rovaniemen ammattikorkeakoulun alainen yksikkö, joka tuottaa yrityksille tutkimus-, kehitys- ja testauspalveluita. Yksikön erityisosaamisena on kylmään ja talveen liittyvät haasteet. (Arctic Power 2013.) Yksikkö tekee Pyhätunturi Oy:lle tutkimuksen lumiaitojen soveltuvuudesta lumen keräämiseen avotunturissa. Tutkimuksen tarkoituksena on löytää lumiaitamalli, jonka avulla lumen kerääminen on mahdollisimman tehokasta ja tarkoituksenmukaista. (Toivonen 2012, 3.)

Arctic Power toimii tämän opinnäytetyön toimeksiantajana, ja työ on osa yksikön tekemää lumiaitatutkimusta. Tekijä oli opinnäytettä tehdessään työsuhteessa toimeksiantajaan. Hänen työtehtävänsä oli vastata Pyhätunturilla teh-

tävän lumiaitatuokimuksen lumenpinnan mittauksista, mittaustulosten käsitte-  
lystä ja kertymän laskemisesta sekä aitojen valokuvauksesta.

#### 4.1.2 Tutkittavat lumiaidat

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan yhteensä kolmea erilaista puusta rakennet-  
tua lumiaitaa. Aitojen pystytolpat ovat painekyllästettyä kuusikulmaista palk-  
kia, joiden halkaisija on 100 millimetriä. Tolpat on upotettu tukevasti maahan  
ja niihin on naulattu 1,3 metriä korkea vaakasuora laudoitus. Laidoituksessa  
käytetyn laudan leveys on 100 millimetriä. Laidoituksen alle jätetyn raon kor-  
keus vaihtelee 200 ja 300 millimetrin välillä. Rako on näin ollen 13–19 pro-  
santtia aidan kokonaiskorkeudesta ja on hyvin lähellä suositeltua kokoa. Ai-  
dat on rakennettu yhteen jonoon ja yhdessä ne muodostavat 57,5 metriä pit-  
kän lumiaidan.

Tutkittavat aitatyypit ovat 50/100, 100/100 ja 200/100 ja niiden erona on lau-  
doituksen läpäisevyys. 50/100-aidassa aitamateriaalina käytetyn laudan le-  
veys on 100 millimetriä ja lautojen väli 50 millimetriä. Laidoituksen lä-  
päisevyys on näin ollen 33 prosenttia. Aita on 19 metriä pitkä. 100/100-aita  
on pituudeltaan 18,5 metriä ja se on aitaajonossa keskimmäisenä. Aidassa  
lautojen väli on 100 millimetriä ja läpäisevyys 50 prosenttia. 200/100-aidassa  
lautojen väli on 200 millimetriä, läpäisevyys on 66 prosenttia ja aidan pituus  
on 20 metriä.



Kuvio 4. Tutkittavat lumiaidat.

#### 4.1.3 Tutkimuksen toteuttaminen

Opinnäytetyön osuus lumiaitatuskimuksesta toteutettiin mittaamalla lumenpinnan muoto säännöllisin väliajoin tutkittavien lumiaitojen ympäriltä. Lumenpinta mitattiin myös aitaajonon viereiseltä vertailualueelta, jotta lumen kertymää voitiin verrata aidattomaan alueeseen. Lumenpinnan mittaukset suoritettiin laserkeilaimella. Mittaustulosten avulla lumenpinta mallinettiin ja laskettiin aitojen ympärille kertyneen lumen tilavuus jokaisen mittauspäivän jälkeen. Aitojen ympärille kertyneen lumen tilavuutta verrattiin vertailualueelle kertyneen lumen tilavuuteen. Lumen kertymistä tarkasteltiin myös silmämääräisesti ja aidoista otettiin valokuvia mittausten yhteydessä.

Tutkimuksen mittaukset suoritettiin talvella 2012–2013 ja niitä tehtiin yhteensä kymmenenä eri päivänä. Ensimmäinen mittaus tehtiin lokakuun lopussa, jolloin mitattiin tutkimusalueen maanpinta. Mittauksia tehtiin joulukuuhun saakka kerran kuukaudessa, koska lunta ei ollut riittävästi kattavien tulosten saamiseksi. Tammikuun alusta lähtien mittaukset tehtiin kasvaneesta lumimäärästä johtuen joka toinen viikko. Mittauksia jatkettiin maaliskuun loppuun saakka.

Mittaustulokset käsiteltiin ja lumen kertymä laskettiin jokaisen mittauksen jälkeen ennen seuraavaa mittauspäivää. Laskennan yhteydessä kertyneestä lumikinoksesta tehtiin poikkileikkauskuva jokaisen aidan keskikohdasta, jolla pystyttiin havainnollistamaan kertyneen kinoksen muoto. Jokaiselta mittauspäivältä tehtiin myös muistio, johon koottiin laskennan tulokset sekä kirjattiin tutkimusalueella havaitut asiat. Muistioon liitettiin myös aitojen toimintaa kuvaavia valokuvia.

## **4.2 Vaihe-erolaserkeilaimen soveltuvuus lumenpinnan mittaukseen**

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Z+F IMAGER 5006i -laserkeilaimen soveltuvuutta lumenpinnan mittaukseen avotunturissa. Tutkimus tehtiin lumiaitatutkimuksen laserkeilauksista saatujen käyttökokemusten ja mittaustulosten perusteella.

### **4.2.1 Tutkittavat asiat**

Maalaserkeilaimia ei ole suunniteltu käytettäväksi kylmässä säässä, sillä monien keilainten suositeltu käyttölämpötila on korkeampi kuin -10 celsius astetta (Kukko 2005, 16; Leica Geosystems 2013). Tässä työssä käytetyn keilaimen suositeltu käyttölämpötila on 45– -10 celsius astetta (Taulukko 1). Työssä suoritettiin laserkeilauksia yhdeksänä eri päivänä lämpötilan vaihdellessa 0 ja -15 celsius asteen välillä, joten projektin kokemusten perusteella voitiin tutkia laitteen toimivuutta kylmässä säässä.

Laserkeilainta ei suositella käytettävän lumi- tai vesisateella tai erityisen pölyisissä paikoissa, koska ilmassa leijuvat partikkelit aiheuttavat lasersäteen absorboitumista ja virheellisiä mittaustuloksia (Koski 2001, 24). Tässä työssä laserkeilaukset tehtiin avotunturissa, joten ilmassa oli mittausten aikana paljon lumipölyä ja tuulen mukana liikkuvaa lunta. Erityisesti lumitykkien käytön aikana näkyvyys mittausalueella oli erittäin huono. Laserkeilaustulosten käsittelyn yhteydessä tutkittiin lumipölyn vaikutusta keilauksen laatuun.





Kuvio 5. Laserkeilaus käynnissä sumuisissa olosuhteissa.

Vastaavan laitteen soveltuvuutta lumen ja jään mittaukseen on tutkittu jo aikaisemmin, mutta tutkimuksessa on keilattu lumirakenteita (Syväjärvi 2010, 15-17). Tunturiolosuhteissa lumi on usein koskematonta ja on siten erilainen materiaali kuin rakentamisessa käytetty käsitelty lumi. Lumi eroaa monista muista materiaaleista huokoisuutensa ja heijastavuutensa takia.

Lumiaitatutkimuksessa tutkimusalue, jolta lumenpinta tuli mitata, oli melko tasainen ja laaja. Keilaukset suoritettiin kolmijalalta, jolloin mitattava pinta jäi suurimmaksi osaksi laitekorkeuden alapuolelle. Näin ollen kohteen pinnan ja lasersäteen välinen kulma jäi pitkillä etäisyyksillä pieneksi. Pistepilviä tarkastelemalla tutkittiin, kuinka pitkiä etäisyyksiä laserkeilain mittaa lumen pintaa.

#### 4.2.2 Tutkimuksen toteuttaminen

Laserkeilaimen soveltuvuutta lumenpinnan mittaukseen avotunturissa tutkittiin lumiaitatutkimuksen mittausten ja mittaustulosten käsittelyn yhteydessä. Mittauksia tehtäessä havaitut asiat keilaimen toimivuudesta ja käyttökokeuksista kirjattiin muistiin myöhempää yhteenvetoa varten.

Keilaustuloksia käytettiin lumen kertymän laskentaan. Laskennan suorittamiseksi tuli pistepilveä tarkastella ja käsitellä monella eri tavalla. Käsittelyn yhteydessä havaittiin lumisten olosuhteiden vaikutukset keilaustuloksiin ja ne kirjattiin muistiin. Mittauseräisyyttä tutkittiin tarkastelemalla eri päivinä mitattuja pistepilviä ja mittaamalla niitä käsittelyohjelmistojen mittaustyökaluilla.

## **5. LUMENPINNAN MITTAUS Z+F IMAGER 5006i -LASERKEILAIMELLA**

### **5.1 Mittaustavan valinta**

Tämän opinnäytetyön mittaukset suoritettiin Rovaniemen ammattikorkeakoulun omistamalla Z+F IMAGER 5006i -maalaserkeilaimella. Laserkeilausta päädyttiin käyttämään mittauskohteesta ja mittauksen tarkoituksesta johtuen. Mittauksen yhteydessä haluttiin myös tutkia laitteen soveltuvuutta lumen mittaukseen avotunturissa.

Laserkeilauksella lumenpinta pystyttiin mittaamaan koskematta siihen. Tämä oli selvä etu muihin käytössä olleisiin mittaustapoihin nähden, sillä takymetri- tai GPS-mittausta käytettäessä kartoitussauvaa olisi jouduttu kannattelemaan lumen pinnalla. Takymetrillä on mahdollista mitata lumenpinta prismattomalla mittauksella, mutta kyseinen mittaustapa olisi ollut liian hidas tutkimusalueen kattavaan mittaukseen. Laserkeilaus on muita mittaustapoja selvästi tehokkaampi suuren mittausnopeutensa ansiosta ja sen avulla lumenpinnan muoto saatiin tallennettua tarkasti. Yhtä tarkkaan mittaukseen muilla keinoilla olisi kulunut liikaa aikaa. Laserkeilauksella pystyttiin myös minimoimaan mittaajan kävelemisen tarve lumisella mittausalueella. Syy laserkeilauksen valintaan oli myös se, että mittauksen vastuuhenkilöllä oli aikaisempaa kokemusta laserkeilauksesta ja siihen liittyvästä aineiston käsittelystä.

### **5.2 Laserkeilausprosessi**

#### **5.2.1 Mittausalueeseen tutustuminen**

Mittausalueella käytiin ensimmäisen kerran lokakuun 2012 lopussa, jolloin maasto oli vielä lähes lumeton. Samalla mitattiin alueen maanpinnan muoto molemmilta puolilta aitoja noin 25 metrin etäisyydeltä. Mittaus tehtiin Trimble R8 GNSS -vastaanottimella, koska laserkeilain ei ollut tuolloin käytettävissä. Mittauksessa käytettiin ETRS-GK27-koordinaatistoa.

Laserkeilausten suunnittelu aloitettiin tutustumalla mitattavaan alueeseen ja tutkittaviin lumiaitoihin. Niiden pituus mitattiin kartoittamalla aitatolpat. Aitojen pituuden perusteella voitiin arvioida alueen kattavaan mittaukseen tarvittavien keilausten määrä.

### 5.2.2 Tähysten valinta

Suoritettaessa laserkeilauksia samalla alueella eri ajankohtina, voidaan mitaukset sitoa samaan koordinaatistoon kiinteillä tai liikutettavilla tähyksillä. Käytettäessä kiinteitä tähyksiä, tulee mittausalueelle rakentaa kiinteitä tähyssidikkeitä. Pidikkeiden tulisi olla riittävän tukevia, jotta voidaan varmistua niiden liikkumattomuudesta mittausten välisenä aikana. Kiinteiden tähysten etuna on, ettei niiden sijaintia tarvitse mitata takymetrillä jokaisen keilauksen yhteydessä. Samalla vältetään myös takymetrin orientoinnissa tulevasta virheestä. (Syväjärvi 2010, 18-19.)

Vaikka mittaukset suoritettiin tässä työssä samalla alueella, niissä käytettiin liikutettavia tähyksiä. Syy tähän oli, ettei alueella ollut sopivia paikkoja kiinteiden tähyssidikkeiden rakentamiseen. Liikutettavat tähykset mahdollistivat myös keilausten asemapisteidien vapaan sijainnin, jolloin kohde voitiin mitata riittävän monesta suunnasta.

Keilatessa kohdetta usealta eri kojepisteeltä, tulee pistepilvillä olla vähintään 3 yhteistä tähystä. Tämän projektin keilauksissa käytettiin neljää tasomaista tähystä, jotka kiinnitettiin kameran kolmijalkoihin. Ylimääräisten tähysten käyttö lisää pistepilvien rekisteröinnin tarkkuutta. Lisäksi niiden käyttö mahdollistaa rekisteröinnin onnistumisen, vaikka yksi tähyksistä olisikin käyttökelvoton. Koska käytössä oli vain neljä tähystä, jouduttiin ne siirtämään jokaisen keilauksen jälkeen lähemmäksi seuraavan keilauksen asemapistettä. Liikutettavia tähyksiä käytettäessä niiden sijainti täytyy mitata takymetrillä. Tässä työssä tähykset mitattiin prismattomalla mittauksella Rovaniemen ammattikorkeakoulun omistamalla Topcon 9003A -robottitakymetrillä.

### 5.2.3 Mittausalueen valmistelu

Koska mittauksissa käytettiin liikutettavia tähyksiä, tarvittiin myös takymetriä jokaisessa mittauksessa. Takymetrin asemapisteen sijainti suunniteltiin siten, että siltä oli hyvä näkyvyys koko mittausalueelle. Kolmeen lumiaidan pystytolppaan kiinnitettiin prismatarra ja niiden sijainti mitattiin takymetrillä. Prismatarrojen mittausa tehtessä takymetri oli orientoitu vapaalle asemapisteele GNSS-vastaanottimella mitattujen pisteiden mukaisesti. Näin ollen prismatarrojen sijainnin koordinaatit saatiin samassa koordinaatistossa kuin GNSS-vastaanottimella tehty maanpinnan mittaus.

#### 5.2.4 Laserkeilaus

Keilaukset tehtiin kylmässä säässä ja siksi mittauspaikka valmisteltiin mahdollisimman hyvin ennen keilausten aloittamista. Hyvällä valmistelulla voitiin minimoida laserkeilaimen käyttöä kylmässä ulkoilmassa. Keilainta pyrittiin säilyttämään kuljetuslaatikossa mahdollisimman paljon mittausprosessin aikana, jotta se ei jäähtyisi liiaksi. Jäähtymistä pyrittiin estämään myös suorittamalla keilaukset keskitiheällä resoluutiolla, jolloin mittausaika oli mahdollisimman lyhyt.

Aluksi suunniteltiin keilauksen asemapisteen sijainnit ja pystytettiin keilaimen kolmijalka ensimmäiselle pisteelle. Asemapisteen suunnittelussa tuli ottaa huomioon kertyneen lumikinoksen muoto, jotta pistepilviin ei jäänyt mitaamattomia alueita. Pystyttämisen yhteydessä tasattiin myös jalassa oleva rasiatasain.

Keilaimen kolmijalan pystyttämisen jälkeen pystytettiin tähykset asemapisteen ympärille sopivalle etäisyydelle keilaimesta. Laitevalmistaja suosittelee asettamaan tähykset 1–15 metrin etäisyydelle keilaimesta, kun keilaukset suoritetaan keskitiheällä resoluutiolla (Zoller+Fröhlich GmbH 2007, 31).

Myös takymetri pystytettiin ennen keilausten aloittamista. Laite pystytettiin paikkaan, josta oli hyvä näkyvyys prismatarroihin ja mittausalueelle. Takymetri orientoitiin käytettävään koordinaatistoon kahdesta prismatarrasta. Orientoinnin jälkeen mitattiin kolmas prismatarra ja saatuja koordinaatteja verrattiin pisteelle aikaisemmin mitattuihin koordinaatteihin. Näin voitiin varmistaa orientoinnin onnistuminen. Kun takymetri oli saatu orientoitua, mitattiin pystytettyjen tähysten sijainnit prismattomalla mittauksella, jonka jälkeen tähykset käännettiin osoittamaan kohti keilainta.

Valmisteluiden jälkeen voitiin aloittaa laserkeilaus. Keilain kiinnitettiin kolmijalkaan, minkä jälkeen se tasattiin laitteen sisäisten tasainten mukaisesti. Keilauksissa käytettiin keskitiheää resoluutiota, jolloin mittausaika on 1 minuutti ja 40 sekuntia (Taulukko 1). Resoluutioksi valittiin keskitiheä, jotta keilaustiedot eivät kasvaneet liian suuriksi jatkokäsittelyä ajatellen. Tiedostokansio, johon laite tallensi tehdyt keilaukset, nimettiin mittauspäivämäärän mukaisesti. Tämän jälkeen käynnistettiin keilaus. Kun keilaus tuli valmiiksi, keilain lai-

tettiin takaisin kuljetuslaukkuun odottamaan seuraavan asemapisteen valmistelua, jotta se ei jäähtyisi liikaa.

Lumenpinnan kattavaan mittaukseen tarvittiin säästä ja lumidyynin muodosta riippuen 6–10 keilausta. Koko projektin aikana tehtiin yhteensä 66 keilausta. Huono sää lyhensi keilaimen mittauskantamaa, jolloin keilausten määrää jouduttiin lisäämään. Aidan korkeudesta johtuen keilauksia jouduttiin suorittamaan molemmin puolin aitaa.

### **5.3 Mittaustulosten käsittely**

Laserkeilausten jälkeen mittausten tiedostokansio kopioitiin keilaimen kovalevyltä USB-muistitikkuun. Tämän jälkeen tikku liitettiin takymetriin, josta mitatut tähtysten koordinaatit siirrettiin GT-formaatissa muistitikkuun. Tiedonsiirtojen jälkeen tikku liitettiin tietokoneeseen ja kansio kopioitiin kahteen kertaan tietokoneen kovalevylle. Toinen kopioiduista tiedostokansioista jätettiin varmuuskopioksi ja toisen kansion tiedostoja ryhdyttiin käsittelemään.

#### **5.3.1 Zoller+Fröchlich LaserControl -ohjelmistolla tehtävä esikäsittely**

Keilausaineiston esikäsittely, suodattaminen ja rekisteröinti tehtiin keilainvalmistajan omalla LaserControl-ohjelmistolla. Käsittely aloitettiin avaamalla keilaustiedostokansioista keilaimen luoma projektitiedosto. Käytettäessä LaserControlia alkuperäisillä asetuksilla, ohjelma suodattaa keilausaineistoa jo projektin avaamisen yhteydessä. Tämä suodatustoiminto kytkettiin pois päältä, jotta ohjelmisto ei suodattaisi pois tärkeitä pisteitä.

Varsinainen suodatus tehtiin ohjelman Preprocessing-toimintoa käyttäen. Toiminto sisältää 6 erilaista suodatinta, joissa kaikissa on valmiit parametrit suodatukseen. Toiminnon avulla pistepilvistä poistettiin tarpeettomia pisteitä, kuten lumihiukkasista mitatut pisteet.

Koska keilauksia tehtiin koko tutkimusprojektin ajan samalta alueelta, jouduttiin pistepilvet rekisteröimään samaan koordinaatistoon. Ennen kuin pistepilvi voitiin rekisteröidä, tuli takymetrillä tehtyä GT-tiedostoa muokata 3D WIN-ohjelmalla. Mitattujen tähtysten koordinaatit olivat ETRS-GK27-koordinaatistossa, joten niiden koordinaatteja piti lyhentää aineiston käsittelyn helpottamiseksi. Muokkauksen jälkeen tiedosto kirjoitettiin Caplan-formaatissa, jotta se voitiin avata LaserControlilla.

Pistepilvien tähykset tunnistettiin Fit target -toiminnolla. Toiminto kytkettiin päälle, jonka jälkeen osoitettiin tähystä, jolloin ohjelma tunnisti tähyksen keskipisteen. Tähys nimettiin samalla nimellä kuin Caplan-tiedossa. Kun kaikki tähykset oli käyty läpi, rekisteröitiin pistepilvet Register all scans -toiminnolla. Rekisteröinnin onnistuminen ja tarkkuus tarkistettiin toiminnon tekemästä raportista. Tehtyjen toimintojen jälkeen käsitellyistä pistepilvistä tehtiin ASCII-tiedostot projektikansioon.

### 5.3.2 Trimble RealWorks Survey Advanced -ohjelmistolla tehtävä jatkokäsittely

Muokattujen pistepilvien käsittelyä jatkettiin Trimblen RealWorks -ohjelmistolla, koska siinä on LaserControlia monipuolisemmat työkalut pistepilven käsittelyyn. Käsittely aloitettiin tekemällä työ, johon avattiin ASCII-muotoiset pistepilvet. Pistepilvet yhdistyivät rekisteröinnistä johtuen yhdeksi isoksi pistepilveksi. Pistepilvien sopivuus toisiinsa tuli tarkistaa ja samalla varmistettiin, että lumenpinta on tallentunut koko mittausalueelta.

Ensimmäinen toimenpide RealWorksissa oli pistepilven ositus Segmentation-työkalun avulla. Pilvestä otettiin käsittelyyn samankokoinen alue kuin GNSS-vastaanottimella oli aikasemmin mitattu ja loput pilvestä poistettiin työstä. Työkalun avulla pistepilvistä poistettiin myös kasvillisuudesta mitatut pisteet, jotta ne eivät vaikuttaneet laskentatuloksiin. Pistepilven turhia pisteitä poistettiin myös Sampling-työkalulla, jolla ilmasta mitattujen lumihiuksien poistaminen oli helppoa. Myös lumiaidat poistettiin pistepilvistä työkalun avulla, jotta ne eivät vääristäneet pilvestä tehtävää lumen kertymän laskentaa.

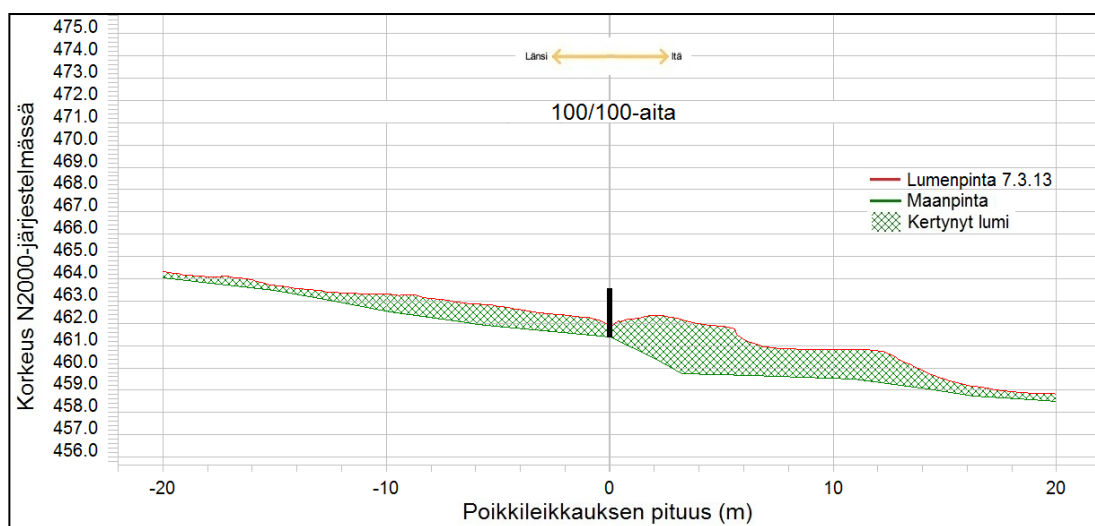
Kun pistepilvi oli saatu siivottua turhista pisteistä, se harvennettiin Sampling-työkalulla niin, että pisteiden väliseksi etäisyydeksi jäi 25 senttimetriä. Tiheämpi pistepilvi olisi ollut liian raskas avattavaksi 3D WIN -ohjelmistolla, jolla kertymän laskenta suoritettiin. Harvennettu pistepilvi vietiin ohjelmasta DXF-formaatissa projektikansioon, jotta se saatiin avattua 3D WIN -ohjelmistolla.

### 5.3.3 3D WIN -ohjelmistolla tehtävä lumen kertymän laskenta

Lumen kertymän laskenta suoritettiin 3D WINillä, joka on kotimainen maastomittaustiedon käsittelyyn tarkoitettu ohjelmisto (3D-system Oy 2013). Ker-

tymän laskeminen aloitettiin avaamalla GT-formaatissa oleva maanpinnan mittaustiedosto. Pisteiden koordinaatit olivat ETRS-GK27-koordinaatistossa, joten niiden koordinaatit piti lyhentää samalla tavalla kuin tähysten koordinaattien lyhennyksessä oli aiemmin tehty. Lyhennyksen jälkeen GNSS-mittauksen tulokset olivat samassa koordinaatistossa keilausten kanssa. Pisteille suoritettiin kolmiointi, jolloin ohjelma muodostaa pisteiden mukaisen pinnan eli maastomallin. Maanpinnan mallintamisen jälkeen avattiin DXF-formaatissa ollut käsitelty pistepilvi, jonka pisteistä muodostettiin pinta kolmioinnin avulla.

Ohjelmassa on kolme erilaista tapaa suorittaa massalaskenta. Tässä työssä kertyneen lumen tilavuus laskettiin poikkileikkausmenetelmällä, jotta laske-  
tuista massoista saatiin tehtyä myös poikkileikkauskuvat. Kyseistä menetelmää käytettäessä ohjelma laskee pintojen välisen tilavuuden käyttäjän määrittelemältä alueelta ja piirtää laskennasta poikkileikkauskuvat. Laskenta-alue määritettiin siten, että se ulottui molemmille puolille aita 20 metrin etäisyydelle. Koska aidat olivat pituudeltaan erilaisia, massalaskenta suoritettiin lyhyimmän aidan pituuden mukaisesti, jotta tuloksia voitiin vertailla luotettavasti toisiinsa. Jokaisen aidan keskikohdasta piirtynyt poikkileikkaus tallennettiin ja liitettiin mukaan laskentatuloksiin kuvaamaan kertyneen lumidyynin muotoa.

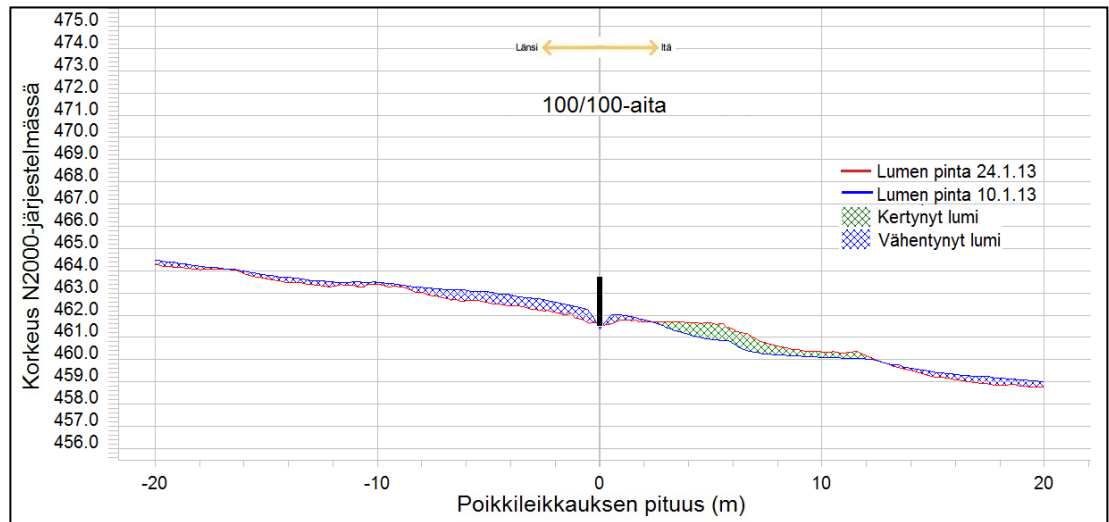


Kuvio 6. Esimerkki laskentatuloksiin liitetystä poikkileikkauskuvasta, jossa lumenpintaa on verrattu maanpintaan.

Lumen tilavuuden muutos laskettiin samalla tavalla myös mittauspäivien väliseltä ajalta. Tilavuus laskettiin laserkeilatun lumenpinnan mallinnuksen ja aikaisemman mallinnuspinnan väliltä. Laskennasta tallennettiin myös poikki-



leikkauskuvat aitojen keskikohdista, joista nähtiin lumen kertymis- ja vähennemiskohdat.



Kuvio 7. Esimerkki laskentatuloksiin liitetystä poikkileikkauksevasta, jossa lumenpintaa on verrattu edellisen mittauksen lumenpintaan.

## 6. TUTKIMUSTEN TULOKSET

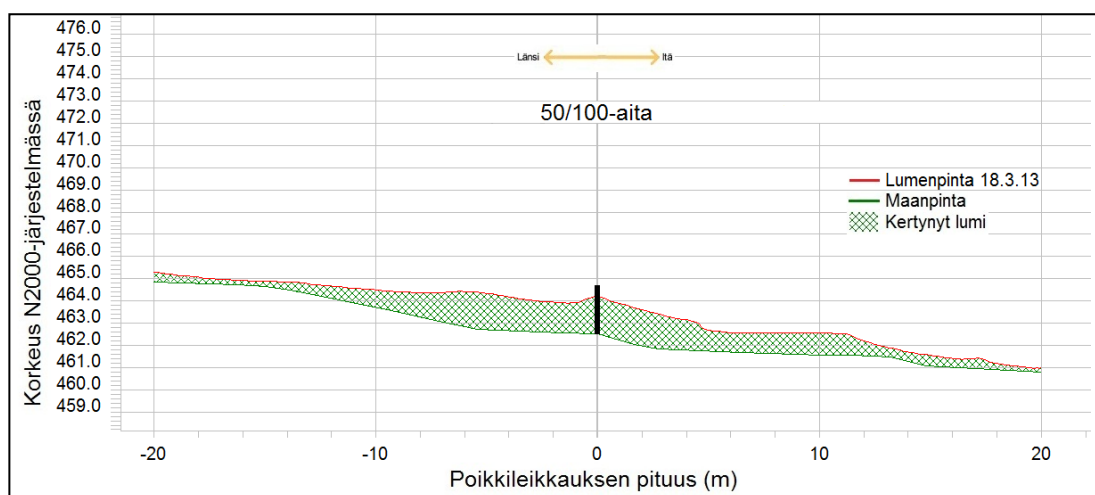
### 6.1 Lumiaidan soveltuvuus lumen keräämiseen avotunturissa

#### 6.1.1 Tutkittavat lumiaidat

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kolmen erilaisen lumiaidan soveltuvuutta lumen keräämiseen Pyhätunturissa. Tutkimus suoritettiin laserkeilaamalla lumenpinta säännöllisin väliajoin tutkittavien lumiaitojen ympäriltä sekä vertailualueelta. Mittaustulosten avulla laskettiin lumen kertymä. Kertymästä tehtiin laskennan yhteydessä poikkileikkaukset aitojen keskikohdasta, joilla havainnollistettiin kertyneen lumikinoksen muotoa.

Tässä työssä on esitetty vain pieni osa tutkimuksen tuloksista, koska tulosten määrä kasvoi melko suureksi. Kaikki laskentatulokset ja valokuvat on toimitettu työn toimeksiantajalle erillisinä dokumentteina. Toimeksiantajan pyynnöstä kertyneen lumen tilavuuksia ei ole tässä työssä yhdistetty tutkittaviin aitatyyppeihin.

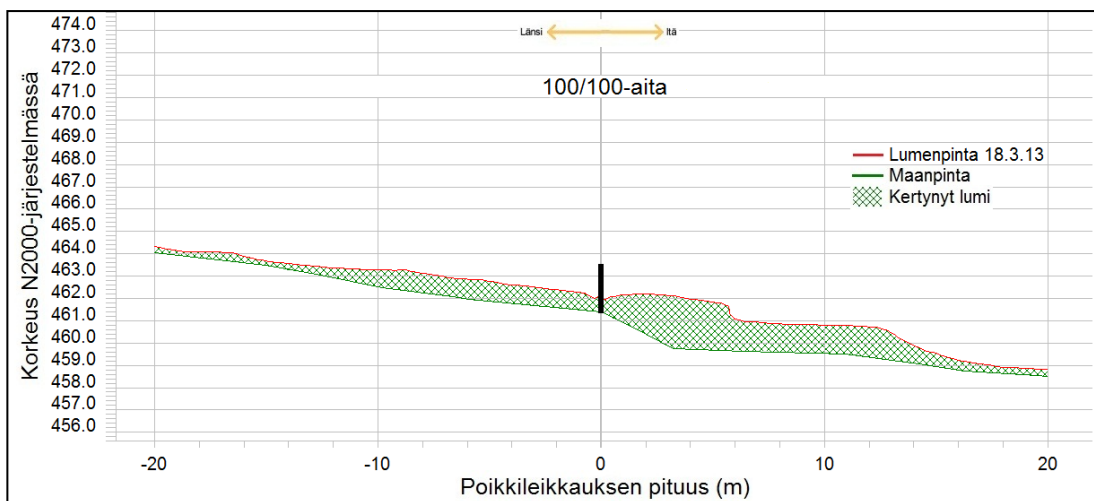
50/100-aidan laudoituksessa lautojen väli oli 50 millimetriä ja laudoituksen läpäisevyys 33 prosenttia. Tiheä laudoitus aiheutti ongelmia aidan toimivuudessa, sillä aidan raot tukkeutuivat lumesta hyvin nopeasti, eikä tuuli päässyt kulkeutumaan aidan lävitse. Tämä aiheutti lumen kertymisen lähelle aita ja lopulta aita täyttyi lumesta kokonaan.



Kuvio 8. Poikkileikkaus 50/100-aidan keskikohdasta.

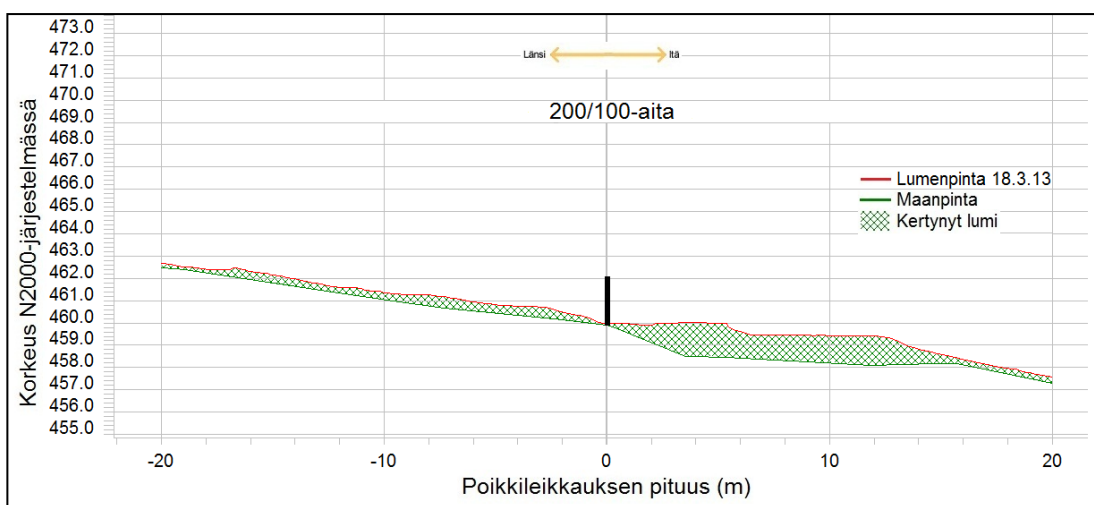
100/100-aidassa lautojen väli oli 100 millimetriä ja laudoituksen läpäisevyys oli 50 prosenttia. Aita oli osan talvesta tukkeutuneena lumesta, mutta lume-

tuksen päätyttyä aita pysyi puhtaana ja mahdollisti näin lumen tehokkaan kertymisen. Tämä näkyi myös kertyneen lumikinoksen muodossa, sillä aita keräsi lunta suuremmalle etäisyydelle kuin 50/100-aita. Aita ei täytynyt lumesta kuten tiheämpi aita, joten se pysyi käyttökelpoisena lähes koko talven ajan.



Kuvio 9. Poikkileikkaus 100/100-aidan keskikohdasta.

200/100-aidan laudoituksen läpäisevyys oli tutkittavien lumiaitojen suurin. Lautojen väli oli 200 millimetriä ja laudoituksen läpäisevyys oli 66 prosenttia. Laudoituksen suuret raot vaikuttivat merkittävästi lumen kertymiseen, sillä aita keräsi selvästi vähemmän lunta kuin tiheämmät aidat. Harva laudoitus pysyi puhtaana lumesta tiheitä laudoituksia paremmin.



Kuvio 10. Poikkileikkaus 200/100-aidan keskikohdasta.

Kuvioista 8, 9 ja 10 nähdään, että aitojen vaikutus lumen kertymiseen jää alle 20 metrin etäisyydelle. 50/100-aita on kerännyt lunta lähes yhtä paljon aidan molemmille puolille. Tämä on tyypillistä umpinaiselle aidalle (kuvio 3). 100/100 ja 200/100-aidat ovat keränneet suuremman määrän lunta alarinteen puolelle. Poikkileikkauskuvista nähdään, että rinnekoneen käyttö tutkimusalueella on vaikuttanut kertyneen lumikinoksen muotoon alarinteen puolella. Rinnekoneen käyttö on tehnyt lumikinokseen noin 6 metrin levyisen uran, joka näkyy poikkileikkauskuvissa tasaisena alueena.

### 6.1.2 Lumen kertyminen

Kertymä laskettiin jokaisen mittauspäivän jälkeen ja tuloksista tehtiin taulukko, jossa verrattiin aitojen keräämän lumen tilavuutta vertailualueelle kertyneen lumen tilavuuteen. Aidat ovat keränneet selvästi vertailualueutta enemmän lunta (Taulukko 2). Kertyneen lumen määrään vaikutti osaltaan rinnekoneen käyttö tutkimusalueella mittauksen välisenä aikana.

Taulukko 2. Aitatyypin vertailua.

Aitatyypin	Kertyneen lumen tilavuus (m <sup>3</sup> )	Vertailuarvo (%)
Vertailualue	330 m <sup>3</sup>	100
Aita A	650 m <sup>3</sup>	197
Aita B	630 m <sup>3</sup>	191
Aita C	480 m <sup>3</sup>	145

## 6.2 Vaihe-erolaserkeilaimen soveltuvuus lumenpinnan mittaukseen

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Z+F IMAGER 5006i -laserkeilaimen soveltuvuutta lumenpinnan mittaukseen avotunturissa. Tutkimus tehtiin lumiaitatutkimuksen laserkeilauksista saatujen käyttökokemusten ja keilaustulosten perusteella.

### 6.2.1 Laserkeilaimen käyttö avotunturissa

Laserkeilaimen tukeva pystyttäminen lumisissa olosuhteissa oli hankalaa sillä lumen määrä mittausalueella kasvoi melko suureksi lumiaitojen kerättyä ajolunta. Yleensä mittauksia tehtäessä mittalaite voidaan pystyttää tukevalle

maaperälle tai alustalle, mutta tämän työn mittauksissa laitteet jouduttiin mittausalueen sijainnista johtuen pystyttämään lumeen. Osa keilauksista suoritettiin useita metrejä syvän lumihangen päältä. Myös takymetrin asemapisteen alueelle kertyneen lumikerroksen korkeus oli yli puoli metriä, jolloin laitteen kolmijalka jouduttiin pystyttämään syvään hankeen. Kolmijalkaa jouduttiin usein siirtämään riittävän tukevan alustan löytämiseksi.

Keilauksia tehtiin yhteensä 66 kappaletta yhdeksänä eri päivänä lämpötilan vaihdellessa 0 ja -15 celsiusasteen välillä. Mittauksien aikana keilainta pyrittiin pitämään kuljetuslaatikossa mahdollisimman pitkään ja keilaukset suoritettiin keskitiheällä resoluutiolla, jolloin mittausaika oli mahdollisimman lyhyt. Näiden toimenpiteiden ansioista kylmä sää ei aiheuttanut ongelmia keilaimen toiminnassa. Keilain toimi moitteettomasti koko projektin ajan. Ainoastaan yhtenä mittauspäivänä jouduttiin turvautumaan keilaimen vara-akkuun. Akkujen hyvään keston vaikuttivat todennäköisesti myös keskitiheän resoluution käyttäminen.

Tämän työn laserkeilauksissa käytettiin neljää tasomaista tähystä, jotka olivat kiinnitettyinä kameran kolmijalkoihin. Jalkojen avulla tähykset saatiin pystytettyä mittausalueelle ja niitä voitiin helposti siirtää asemapisteltä toiselle. Liikuttavien tähysten käyttö mahdollisti myös keilausten asemapisteidensä vapaan sijainnin mittausalueella. Kova tuuli aiheutti ongelmia liikuttavien tähysten käytössä kääntämällä ja kaatamalla niitä keilausten aikana. Tähysten kolmijalat olivat liian kevyitä ja niitä jouduttiin tukemaan lumikokkareilla, jotta ne pysyivät pystyssä kovassakin tuulella. Jokaisen keilauksen jälkeen tuli tarkistaa, että kaikki tähykset osoittavat keilainta kohti, koska voimakas tuuli sai tähykset kääntymään. Asennon tarkastamisella voitiin varmistaa niiden näkyvyys pistepilvissä.

Myös tähysten mittauksessa ilmeni ongelmia. Tähysten sijainti mitattiin takymetrillä prismattomalla mittauksella. Lumisessa säässä takymetri mittasi ilmasta virheellisiä pisteitä, jolloin tähysten koordinaatteja ei saatu mitattua. Tästä syystä yksi keilauksista jouduttiin suorittamaan uudelleen. Takymetrin mitatessa virheellistä pistettä mittausaika oli selvästi pitempi kuin onnistuneissa mittauksissa. Myös takymetrin mittaama etäisyys virheelliseen pistee-

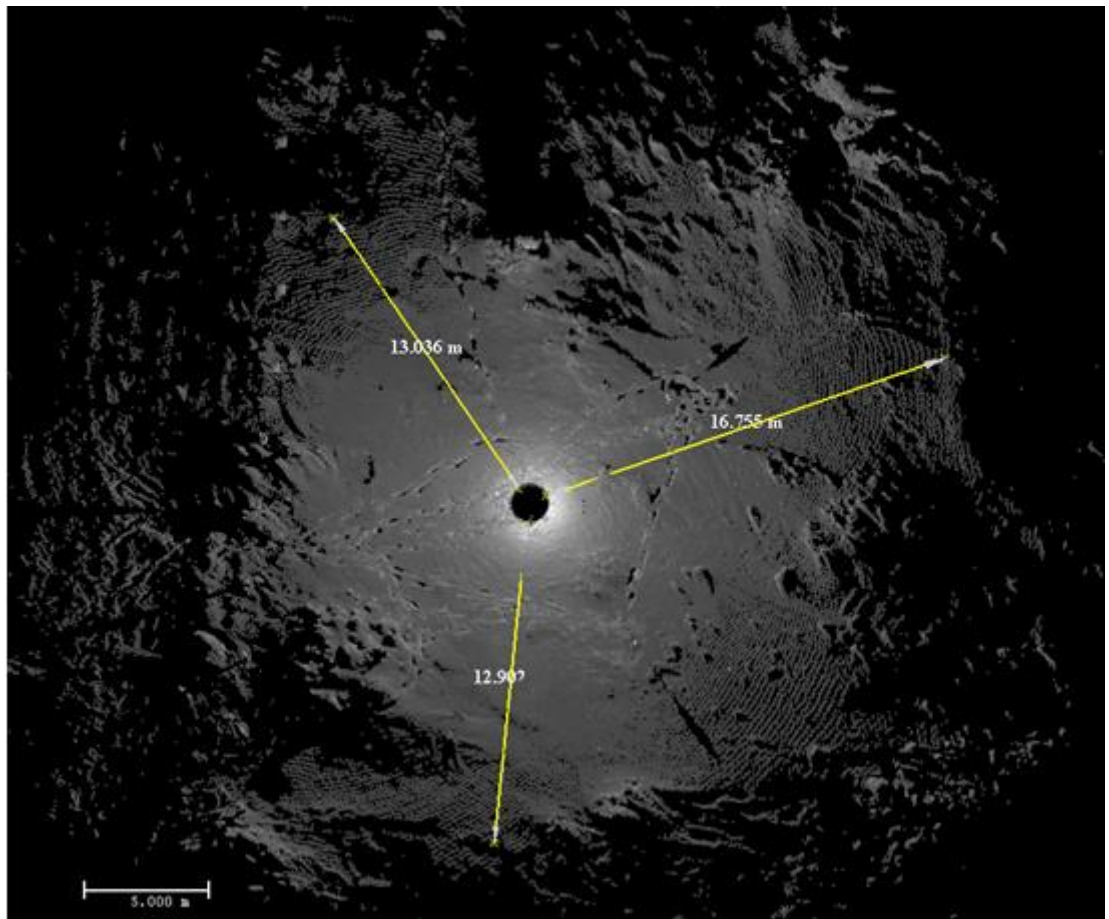
seen oli selvästi lyhyempi, kuin tähyksen todellinen etäisyys, joten virheelliset mittaukset voitiin erottaa onnistuneista mittauksista.

### 6.2.2 Laserkeilaustulokset

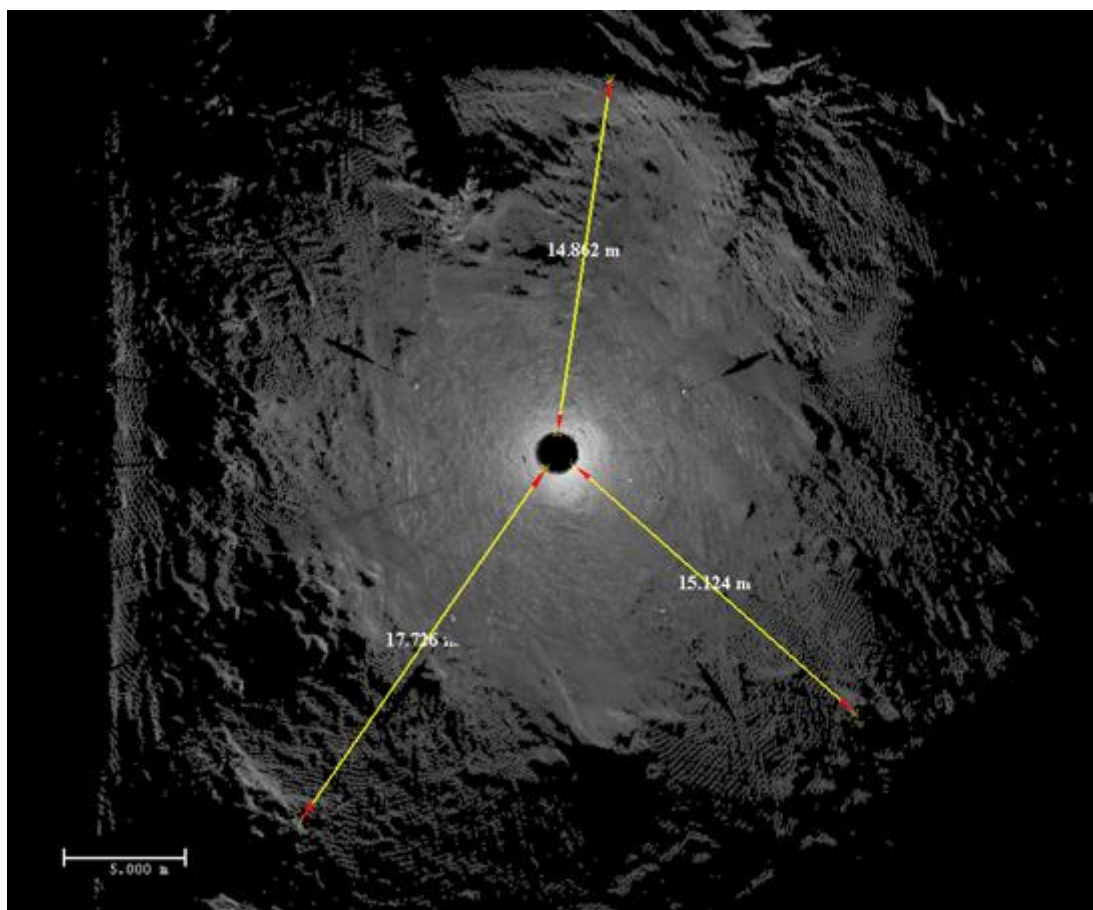
Tässä opinnäytetyössä tutkittiin, kuinka hyvin vaihe-erolaserkeilain mittaa lumenpintaa ja miten ilmassa leijuva lumi vaikuttaa laserkeilaustuloksiin. Laserkeilauksia suoritettiin sekä selkeässä että hyvin sumuisessa säässä.

Lumisissa olosuhteissa tehdyistä keilauksista saatujen pistepilvien käsittelyn yhteydessä havaittiin, ettei ilmassa leijunut lumi haitannut merkittävästi keilausten onnistumista. LaserControllilla tehty suodatus poisti lähes kaikki ilmassa mitatut turhat pisteet ja pistepilvi oli täysin käyttökelpoinen jatkokäsittelyä varten. Suodatuksen vaikutusta pistepilveen kokeiltiin muuttamalla suodattimien parametreja. Parametrien arvoja muuttamalla pyrittiin löytämään sellaiset suodatusasetukset, joilla kaikki virheelliset pisteet voitaisiin suodattaa ilman, että tärkeät pisteet suodattuvat pois pistepilvestä. Parametrien muuttamisella ei havaittu olevan pistepilveä parantavaa vaikutusta, joten suodatus päätettiin tehdä alkuperäisillä asetuksilla. Koska kaikkia virheellisiä pisteitä ei pystytty suodattamaan esikäsittelyssä, loput niistä jouduttiin poistamaan RealWorksilla tehdyssä jatkokäsittelyssä. Niiden poistaminen oli kuitenkin helppoa ohjelmiston kattavien käsittelytyökalujen ansiosta.

Kuviossa 11 on esitetty pistepilvi, joka on mitattu sumuisessa säässä. Syy sankkaan sumuun oli lumitykkien käyttö tutkimusalueen läheisyydessä. Kuviossa 12 on lähes samalta asemapisteltä selkeässä säässä keilattu pistepilvi. Molemmille pistepilville on suoritettu samanlainen suodatus LaserControl-ohjelmistolla.



Kuvio 11. Sumuisessa säässä laserkeilattu pistepilvi.



Kuvio 12. Selkeässä säässä laserkeilattu pistepilvi.

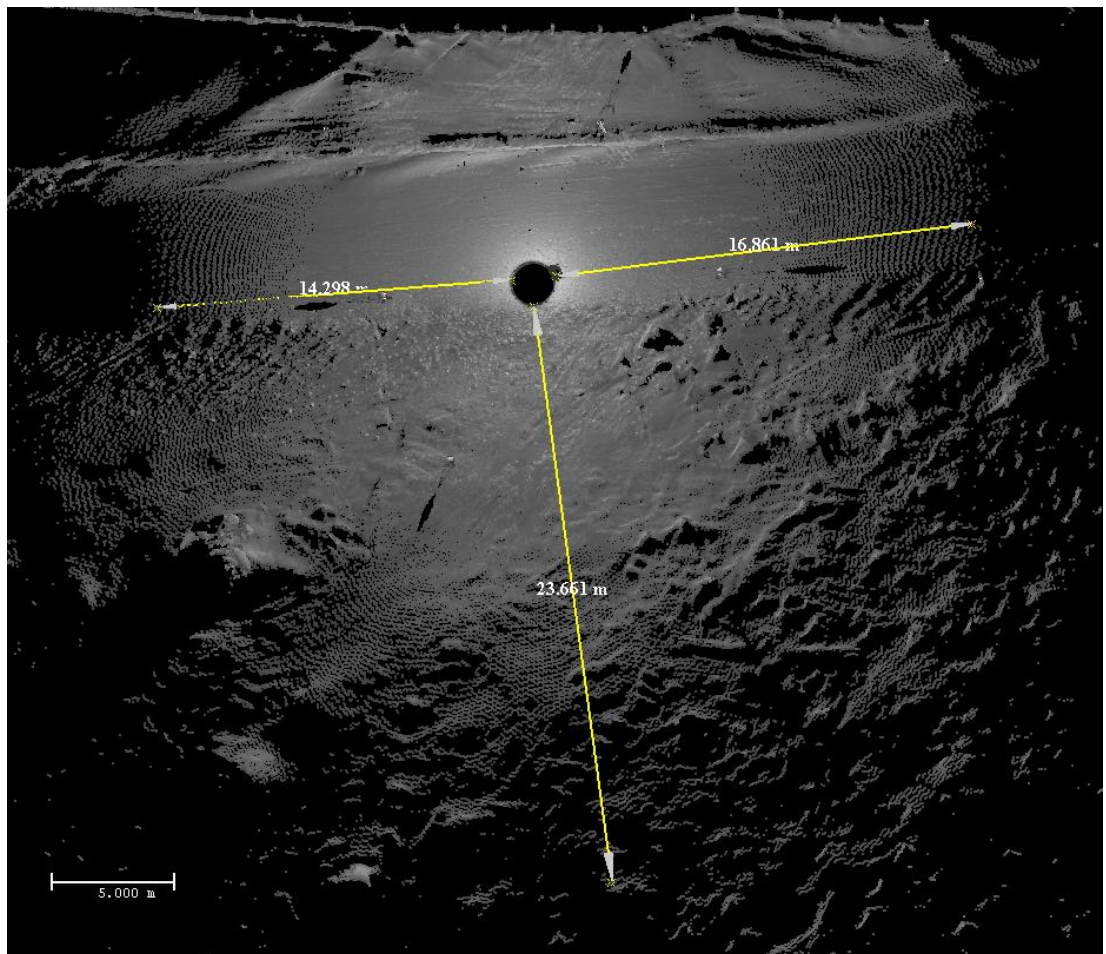
Kuvioiden 11 ja 12 pistepilvistä nähdään, että selkeällä säällä keilain mittaa muutamia metrejä pidempiä etäisyyksiä kuin sumuisessa säässä. Kuvion 11 perusteella voidaan kuitenkin todeta, että keilaus sumuisessa säässä on täysin mahdollista, kunhan varaudutaan lyhyempiin mittausetäisyyksiin. Sää ei vaikuttanut merkittävästi ilmasta mitattujen virheellisten pisteiden määrään pistepilvissä, sillä suurin osa virheellisistä pisteistä suodattui esikäsittelyn yhteydessä.

Lumenpinnan laserkeilauksessa mittausetäisyydet jäivät selkeästi laitevalmistajan ilmoittamasta 79 metrin mittauskantamasta. Tässä työssä selkeällä säällä tehtyjen laserkeilausten pistepilvet ulottuivat vain hieman yli 15 metrin päähän asemapistestä. Sumuisella säällä tehtyjen keilausten kantama jäi alle 15 metrin. Mittausetäisyyttä pyrittiin kasvattamaan käyttämällä tiheämpää resoluutiota keilauksessa. Keilaus suoritettiin samalta asemapisteltä sekä keskitiheällä että tiheällä resoluutiolla, mutta resoluution kasvattamisella ei havaittu merkittävää vaikutusta keilauskantamaan. Myös pistepilven suodatuksen vaikutusta mittausetäisyyteen tutkittiin muuttamalla suodattimien pa-



rametreja, mutta muutoksilla ei juurikaan pystytty lisäämään keilauksen kantamaa.

Kuvion 13 pistepilvestä nähdään, että keilain on mitannut epätasaista lumenpintaa pidemmiltä etäisyyksiltä kuin tasaista lumenpintaa. Tasaisen lumenpinnan mittausetäisyys jää melko lyhyeksi, mutta epätasaisia kohteita keilain mittaa melko pitkiltäkin etäisyyksiltä. Kuvion pistepilvessä tasaiset alueet on tasoitettu rinnekoneella, mutta muut alueet ovat pysyneet koskemattomana.



Kuvio 13. Laserkeilaimella mitattu pistepilvi suodatuksen jälkeen.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että lumiaita soveltuu hyvin lumen keräämiseen avotunturissa. Lumiaitoja käyttämällä voidaan jopa kaksinkertaistaa lumen määrä halutulla alueella. Niiden avulla sekä luonnonlumi että lumitykeillä valmistettu tekolumi pystytään hyödyntämään entistä paremmin. Käytettäessä lumiaitoja tekolumen keräämiseen tulee niiden puhdistamisesta pitää huolta, sillä aitojen raot tukkeutuvat lumesta melko nopeasti, eikä tukossa oleva aita kerää lunta yhtä tehokkaasti.

Lumiaidan läpäisevyys vaikuttaa merkittävästi sen toimivuuteen ja kykyyn kerätä ajolunta. Aidan laudoituksen ollessa tiheä, lautojen välit tukkeutuvat lumesta ja aidan toimivuus heikkenee. Tukkeutunut aita täyttyy lumesta ja lumen kertyminen pysähtyy. Laudoituksen ollessa liian harva, tuuli pääsee puhaltamaan aidan lävitse liian voimakkaasti, eikä lunta kerry yhtä tehokkaasti kuin tiheimmillä laudoituksilla. Harva laudoitus ei tukkeudu lumesta, jolloin se on huoltovapaa ja käyttökunnossa koko talven. Lumiaita toimii parhaiten läpäisevyyden ollessa 50 prosenttia, sillä aita ei vaadi säännöllistä puhdistamista ja lumen kertyminen on tehokasta.

Lumen tehokas kerääminen mahdollistaa kertyneen lumen käytön tärkeissä kohteissa, kuten laskettelurinteiden kunnossapidossa. Lumikinoksen korkeus aidan lähellä voi olla jopa useita metrejä, joten lumiaitojen avulla voidaan varmistaa lumen pitkäaikainen pysyvyys tärkeillä alueilla, kuten moottorikelkkojen kulkureiteillä. Poikkileikkauskuvista nähdään, että lumen paksuus on paljon pienempi alueilla, joihin aidan vaikutus ei ulotu. Ilman aitojen käyttöä alueelle kertynyt lumikerros olisi huomattavasti ohuempi, joten sen sulaminen kevään aikana olisi paljon nopeampaa. Alueen maanpinta oli lähes kauttaaltaan tuntureille tyypillistä kivirakkaa, joten lunta tarvitaan paksu kerros ennen kuin aluetta voidaan käyttää turvalliseen lasketteluun. Lumiaitojen käyttö mahdollistaa paremmat ja turvallisemmat rinneolosuhteet pitkän laskettelu-kauden ajan.

Z+F IMAGER 5006i -vaihe-erolaserkeilain soveltuu lumenpinnan mittaukseen avotunturissa. Keilaimella pystytään mittaamaan lumenpinnan muoto kattavasti ja melko tehokkaasti. Tasaista lumenpintaa laserkeilattaessa kolmijalan päältä jäävät mittausetäisyydet melko lyhyiksi, jolloin keilausten määrää jou-

dutaan lisäämään kattavan pistepilven saamiseksi. Lumenpinnan laserkeilaus korkeammalta alustalta tai ilmasta saattaisi olla normaalia maalaserkeilausta tehokkaampaa, koska lasersäteen ja lumenpinnan välinen kulma olisi tällöin suurempi. Suurempi kulma mahdollistaisi todennäköisesti pidemmät mittausetäisyydet.

Mitattaessa lumenpintaa vaihe-erolaserkeilaimella tulee mittaaajan varautua siihen, että mittausetäisyydet jäävät laitevalmistajan ilmoittamaa kantamaa lyhyemmiksi. Vaikka keilaimesta olisi hyvä näkyvyys pitkillekin etäisyyksille, saattaa laserkeilain jättää ne mittaamatta. Mittauspaikalle on hyvä ottaa mukaan tietokone, jolla keilaustulokset voidaan tarkistaa keilauspaikalla. Näin mittauksen mahdollinen epäonnistuminen huomataan riittävän ajoissa ja mitaukset voidaan suorittaa uudelleen vielä saman päivän aikana.

Tutkittaessa lumiaitoja maalaserkeilaimen avulla kannattaa keilaukset suorittaa liikutettavien tähysten kanssa. Projektin aikana keilausten asemapisteitä jouduttiin siirtämään ja keilausten määrää lisäämään kattavan mittauksen aikaansaamiseksi. Kertyneen lumikinoksen muotoa oli mahdotonta ennustaa, joten kiinteiden tähyspidikkeiden sijoittaminen olisi ollut arpapeliä. Laserkeilauksia tehtäessä tuulisessa paikassa on hyvä käyttää vähintään neljää tähystä, sillä riski tähysten kaatumiseen tai kääntymiseen keilauksen aikana on suuri. Tähysten kanssa tulee käyttää tukevia kolmijalkoja, jotka pysyvät pystyssä kovassakin tuulella ja joiden pystyttäminen ja siirtäminen on helppoa.

Mitattaessa tähysten sijaintia takymetrillä prismattomalla mittauksella lumisissa olosuhteissa tulee mittaaajan olla erityisen tarkkana. Tässä projektissa yksi keilauksista jouduttiin suorittamaan uudelleen, koska takymetri mittasi virheellisiä pisteitä ilmasta, jolloin tähysten koordinaatit jäivät mittaamatta. Virheelliset mittaukset erottuivat muista mittauksista, sillä mittaukseen kulu-  
nut aika oli selvästi pidempi ja etäisyys mitattuun pisteeseen oli selvästi lyhyempi kuin todellinen etäisyys tähykseen.

Suoritettaessa maalaserkeilauksia syvässä lumihangessa tulisi keilaimen kanssa käyttää kolmijalan sijasta jotain muuta alustaa. Keilaimen kolmijalan tukeva pystyttäminen lumeen oli erittäin hankalaa, sillä jalka upposi syvälle lumeen ja tukevan paikan löytäminen oli työlästä. Keilain on melko raskas ja laite tulee pysyä liikkumattomana keilauksen ajan, joten pystyttämisen on

onnistuttava riittävän hyvin. Myös takymetrin tukeva pystyttäminen lumihankeen oli haastavaa.

Laserkeilauksella saadaan käyttökelpoisia mittaustuloksia myös sumuisissa ja pölyisissä olosuhteissa. Ilman hiukkaset eivät vaikeuta tai lisää merkittävästi pistepilven käsittelyä, sillä lähes kaikki ilmasta mitatut pisteet suodattuvat pistepilven esikäsittelyn yhteydessä. Huonoissa olosuhteissa laserkeilauksessa tulee ottaa huomioon mittausetäisyyden lyheneminen.

## LÄHTEET

- 3D-System. 2013. 3D-Win. Osoitteessa  
<http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>. 5.3.2013.
- Ahlavuo, M. - Hyyppä, H. 2007. Laserkeilaus on tulevaisuuden tarkkaa 4D-paikkatietoa. Maankäyttö 4/2007, 51.
- Ahlavuo, M. - Hyyppä, H. - Kukko, A. 2009. Lähilaserkeilauksella kohde kolmiulotteiseksi. Positio 1/2009, 19.
- Alho, P. - Flener, C. - Haggren, H. - Hohenthal, J. - Hyyppä, H. - Hyyppä, J. - Kaartinen, H. - Kasvi, E. - Kurkela, M. - Kukko, A. - Lotsari, E. - Vaaja, M. 2011. Uudet mittausmenetelmät jokiympäristön kartoituksessa. The Photogrammetric Journal of Finland. Osoitteessa  
[http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf\\_e/2011/PJF2011\\_3\\_Alho\\_et\\_al.pdf](http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Alho_et_al.pdf). 2.2.2013.
- Arctic Power. 2013. Osoitteessa <http://www.arcticpower.fi/fi/>. 25.2.2013.
- Federal Highway Administration. 1991. Effective Snow Fences. Video. Osoitteessa  
<http://www.youtube.com/watch?v=pcbspzpkVEQ&feature=related>. 15.2.2013.
- Heiska, N. 2010. Maalaserkeilaimet ovat kehittyneet geodeettisiksi mittauslaitteiksi. Maankäyttö 4/2010, 14-16. 25.1.2013.
- Hyyppä, H. - Hyyppä, J. 2003. Laserkeilauksen laatu ja sen osatekijät. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu 40. Osoitteessa  
<http://mts.fgi.fi/paivat/2003/paperit/hyyppa.pdf>. 5.2.2013
- Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Osoitteessa  
<https://docs.google.com/file/d/0B3MfAqwXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMdIwZTI3NDVm/edit?hl=en&pli=1>. 15.1.2013.
- Järvinen, J. 2008. Maalaserkeilauksen tekniikkaa. Positio 1/2008, 17.
- Koski, J. 2001. Laserkeilaus - uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4/2001, 24-26.
- Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Fotogrammetrian erikoistyö. Osoitteessa  
[http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero\\_Kukko/Laserkeilaimen\\_valinta\\_lahifotogrammetrisiin\\_mittauksiin.pdf](http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero_Kukko/Laserkeilaimen_valinta_lahifotogrammetrisiin_mittauksiin.pdf). 15.1.2013.
- Leica Geosystems 2013. HDS7000 laserkeilain. Esite. Osoitteessa  
[http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS7000/brochures-datasheet/HDS7000\\_DAT\\_fi.pdf](http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS7000/brochures-datasheet/HDS7000_DAT_fi.pdf). 22.2.2013

- Maanmittauslaitos. 2013. Laserkeilaustekniikka. Osoitteessa <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka>. 6.2.2013.
- Nordic Geo Center Oy. 2013. Ilmassa. Osoitteessa <http://www.geocenter.fi/ilmassa/>. 6.2.2013.
- Pyhätunturi Oy. 2013a. Pyhätunturi Oy:n yrityseshittely. Osoitteessa <http://ski.pyha.fi/etusivu/?id=57>. 18.2.2013.
- Pyhätunturi Oy. 2013b. Rukan ja Pyhän ympäristöohjelma. Osoitteessa <http://ski.pyha.fi/etusivu/?id=56>. 18.2.2013.
- Suominen, T. 2009. Laserkeilauksesta apua 3D-mallintamiseen. Tierakennusmestari 4/2009, 44-47.
- Syväjärvi, J. 2010. Lumi-, jää-, ja yhdistelmärakenteiden deformaatiomittaus laserkeilaimella. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- Tabler, R. 1991. Snow Fence Guide. Opas. Osoitteessa <http://www.dot.state.il.us/blr/l002.pdf>. 3.2.2013.
- Tabler, R. 2003. Controlling Blowing and Drifting Snow with Snow Fences and Road Design. Raportti. Osoitteessa <http://sicop.transportation.org/Documents/Tabler.pdf>. 3.2.2013.
- Toivonen, J. 2012. Tutkimus lumiaidan soveltuvuudesta lumen keräämiseen avotunturissa. Projektisuunnitelma. Pyhätunturi Oy. Julkaisematon materiaali.
- VR Track Oy. 2013. Laserkeilauspalvelut. Esite.
- Zoller+Fröhlich GmbH. 2007. Z+F IMAGER 5006i user manual. Käyttöohje, 31.
- Zoller+Fröhlich GmbH. 2009. Z+F IMAGER 5006i. Esite. Osoitteessa [http://www.laserscanning-europe.com/sites/default/files/Z+F/BROSCHUERE%20Z+FIMAGER\\_5006I\\_E\\_01.07.09.kompr.pdf](http://www.laserscanning-europe.com/sites/default/files/Z+F/BROSCHUERE%20Z+FIMAGER_5006I_E_01.07.09.kompr.pdf). 1.2.2013.